ÉTUDE FAO: FORÊTS 21

influences exercées par les essences à croissance rapide sur les sols des régions tropicales humides de plaine

par
e.o. chijioke
boursier andré mayer

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE
Rome 1982

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

M-33

ISBN 92-5-200972-8

RESUME

En vue d'évaluer les effets de monocultures d'essences à croissance rapide sur les sols des basses-régions tropicales humides, on a comparé l'état du sol sous la forêt naturelle et sous les plantations. Les quantités d'éléments nutritifs contenues dans les arbres entiers ou dans le bois de fût à des âges particuliers ont été mesurées, de même que les réserves totales et les réserves assimilables contenues dans le sol, dans le but de déterminer l'effet d'une exploitation régulière sur le potentiel du terrain pour les révolutions futures.

Les analyses d'échantillons d'arbres suggèrent que les éléments nutritifs immobilisés en plus grandes quantités par Gmelina arborea et Pinus caribaea sont le potassium, le calcium et l'azote. Il semble que la première place revienne au potassium dans les peuplements de Gmelina âgés de 5 à 6 ans, et au calcium pour la croissance du pin.

Les recherches effectuées suggèrent que la productivité des sols sur sédiments, à granulométrie grossière des basses-plaines tropicales se ressent davantage de l'immobilisation d'éléments nutritifs résultant d'une foresterie intensive que celle des sols plus lourds, notamment ceux qui sont dérivés du socle cristallin. Il pourrait être nécessaire d'adopter des méthodes d'aménagement différentes pour les deux types de sols.

Il est recommandé d'entreprendre une étude complète et suivie des modifications subies par les sols - biologiques, chimiques et physiques - afin de déterminer les facteurs qui affecteront les rendements des révolutions futures de monocultures de différentes essences et disposer des éléments de base qui permettront de définir les politiques d'aménagement les mieux adaptées pour les plantations de ce type.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture qui m'a octroyé cette bourse d'étude, ainsi qu'au Forestry Research Institute du Nigeria qui a appuyé ma candidature et m'a ensuite accordé le congé voulu.

Je remercie plus particulièrement la Section des bourses de la FAO de s'être occupée des dispositions administratives et la Sous-Division de la mise en valeur des ressources forestières de m'avoir fourni des avis techniques.

Je remercie également le Départment of Forestry de l'Université d'Oxford de son hospitalité et plus spécialement M. L. Leyton qui a dirigé et supervisé l'étude et examiné le rapport, ainsi que M. P.J. Wood et les autres membres du personnel du Département et de l'Unité de sylviculture tropicale qui m'ont apporté aide et avis.

Mes remerciements très sincères vont aux organisations et personnes ci-après pour l'aide qu'ils m'ont apportée pour le travail sur le terrain : Jari Forestal Agropecuaria Ltda, Brésil, qui m'a fourni logement et moyens de transport, ainsi que matériel et hommes pour les opérations sur le terrain ; les Commissions forestières des Etats de Bendel et d'Ogun au Nigeria ; les Ministères de l'agriculture et des ressources naturelles de la Sierra Leone et de la Gambie ; enfin, les Services forestiers du Suriname et du Belize, qui m'ont aimablement autorisé à effectuer des études sur le terrain et m'ont procuré les moyens de transport nécessaires. A cet égard, ma gratitude va tout particulièrement à : MM. Charles Briscoe et Ron Woessner, MM. Otavio Nuneslopes et John Palmer (maintenant à Turrialba, Costa Rica), tous quatre de Jari Florestal ; MM. Iyamabo et Adekunle, Conservateurs en chef des forêts, respectivement dans les Etats de Bendel et d'Ogun ; MM. M.B. Feika et R.J. Mc Ewan, appartenant respectivement aux Ministères de l'agriculture de Freetown et de Banjul ; MM. A.T. Vink et H.C. Flowers, respectivement Directeur général adjoint des forêts au Suriname et Forestier en chef au Belize. De vifs remerciements sont également dus aux représentants de la FAO et du PNUD dans les pays, ainsi qu'aux directeurs des projets dans les divers endroits visités, en particulier MM. Jim Ball, Tony Wood et Keshar Rajracharya, pour l'aide qu'ils m'ont apportée, notamment pour ce qui est des moyens de communication.

Je remercie aussi les chercheurs et les membres du personnel de leurs laboratoires qui m'ont aidé à effectuer les analyses d'échantillons de plantes et de sols nécessaires pour cette étude, et en particulier M. Rao de l'IITA, à Ibadan (Nigeria), M. Emmanuel de Souza Cruz, de Embrapa Lab de Solos, Belem, et MM. Soe Agnie et J.J. Neeteson, des stations de Landbouwproef et Celos, respectivement.

TABLE DES MATIERES

ANNEXES

LISTE DES TABLEAUX

Page

DANS LE TEXTE

DANS L'ANNEXE 3

Données sur la plantation

Analyse des parties constituantes des arbres et de la litière

Analyse physique du sol

Analyse physique du sol

LISTE DES FIGURES

Pages

DANS LE TEXTE

DANS L'ANNEXE 4

PREFACE DE L'AUTEUR

Si je m'intéresse à l'état des sols partant des monocultures, c'est parce que j'avais entrepris jadis, au cours de mes études spécialisées, une analyse des conditions pédologiques affectant la croissance de Gmelina arborea sur des terrains dérivés du socle cristallin au Nigeria occidental. En m'octroyant une bourse André Mayer, la FAO m'a fourni l'occasion d'en découvrir davantage sur l'état des sols et le cycle des éléments nutritifs sous le couvert d'essences qui deviennent particulièrement importantes, non seulement en foresterie rurale, mais aussi en foresterie industrielle. Il est évident que les études de ce type, avec leurs exigences spatio-temporelles, doivent être suffisamment prolongées pour que l'on puisse en tirer des conclusions valables.

Certes, dix-huit mois ne sont pas assez pour aboutir à des résultats concluants, mais je suis convaincu que les données recueillies jusqu'ici pourront servir de base pour des recherches ultérieures qui, sans nul doute, seront d'un type plus approfondi. Le présent programme pilote a, plus que tout autre chose, permis de circonscrire quelques importantes questions concernant l'aménagement des monocultures qui demandent à être examinées de plus près. Les lecteurs du présent rapport devraient donc tenir présent à l'esprit que les données fournies par cet exercice ne représentent que de simples indications des conditions pédologiques qui pourraient résulter d'un grand nombre de révolutions successives. Les résultats des analyses qui ont été effectuées pour tous les endroits visités n'étaient malheureusement pas encore complets au moment de la rédaction du présent document . Si les résultats manquants deviennent disponibles dans un proche avenir et s'ils conduisent à modifier notablement les conclusions dégagées jusqu'à aujourd'hui, un supplément au présent rapport sera préparé.

Le titulaire de la présente bourse s'est efforcé d'étudier les plantations sous plusieurs aspects, et cela malgré des lacunes mineures dans la méthodologie dues au manque de matériel et de temps. Etant donné la nécessité de poursuivre les recherches, on espère qu'un effort sera fait pour mettre en place un projet à long terme dans les basses-régions tropicales humides.

CHAPITRE 1

GENERALITES

1.1 La physionomie changeante de la foresterie tropicale

Pour le profane, le terme "forêt tropicale" évoque des ressources immenses et une abondance infinie. On imagine souvent les forêts tropicales comme de vastes zones de végétation dense, contenant une multitude de grands arbres appartenant à des espèces de haute valeur économique, avec des chaînes sans fin de lianes et des sous-bois sombres et terrifiants. En réalité, la forêt dense humide n'est pas le type de végétation le plus répandu sous les tropiques, et il faut bien faire ressortir qu'il existe d'autres zones de "forêt" qui, en raison d'influences édaphiques, biotiques ou climatiques, ne sont pas aussi richement dotées. La couverture végétale y est le plus souvent différente : forêt claire, bush, herbe ou une combinaison des trois. Entre les extrêmes, on trouve des situations intermédiaires dont chacune est déterminée par les conditions édapho-climatiques dominantes et l'influence de l'homme.

Dans les zones de forêt tropicale réside aussi une nombreuse population humaine qui, en dépit de l'apparente richesse naturelle de la forêt, vit le plus souvent dans la pauvreté. L'exploitation du bois et celle des autres ressources ne sont pas suffisantes pour améliorer le niveau de vie des communautés souvent dispersées qu'elles hébergent.

Il n'est guère possible à l'économie de quelques-unes des zones relativement développées des tropiques de faire face au coût de la réimportation de produits finis fabriqués avec le bois même qu'elles avaient exporté.

Les recherches effectuées depuis quelques dizaines d'années ont permis d'identifier diverses essences qui, outre leur croissance rapide, ont un bois aux propriétés très intéressantes. Ce sont notamment Eucalyptus spp., Pinus spp., Albizia falcataria, Cupressus lusitanica, le teck et Gmelina arborea. Pour différentes raisons, la foresterie traditionnelle a cédé la place à la foresterie industrielle ou à l'élevage de peuplements dans certaines parties des tropiques. Citons en particulier l'accroissement projeté de la demande mondiale de produits du bois, l'accroissement projeté de la population mondiale - surtout dans les pays en développement - et, parallèlement au relèvement du niveau de vie dans ces pays, la plus forte consommation projetée de papier et de bois massif (Johnson, 1976). Johnson suggère que la demande de papier sera encore plus importante que celle de bois massif, ce qui indique que le prix des essences de petite taille, à fibre longue, augmentera davantage que celui des essences au bois sans noeuds.

Plus récemment, King (FAO, 1977-1978) a souligné la nécessité de donner une nouvelle dimension à la foresterie, et cela dans le but de contribuer à la production alimentaire et de mettre un terme à l'appauvrissement des zones rurales et même dans certains cas transformer la situation. Il a préconisé que la foresterie soit mise au service du développement communautaire local, afin que les pauvres ruraux deviennent, avant les habitants des villes, les principaux bénéficiaires des activités forestières. Particulièrement importante est la généralisation de l'agrisylviculture, combinant la plantation d'arbres avec des cultures labourées, intégrant la production vivrière avec l'arboriculture et l'élevage (King, 1968).

Le passage de la foresterie de type classique à la foresterie de plantation dans certaines parties des tropiques s'explique probablement aussi par la demande croissante de bois de combustible dans le monde en développement où (malgré le pétrole) le bois reste la principale source d'énergie et la pénurie a eu pour conséquence une chute de la production alimentaire. Dans un rapport soumis à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement (stockholm, 1972), l'Inde a indiqué que par suite du manque de bois de feu, on en était réduit à employer comme combustible la bouse de vache qui aurait dû servir d'engrais. Pour

pouvoir brûler du bois à la place, il faudrait créer presque 10 millions d'hectares de plantations forestières, tâche impossible dans les conditions existantes (Zumer-Linder, 1976). Eckholm (1975a) a décrit l'attitude officielle du Gouvernement indien en ce qui concerne la crise du bois de combustible lorsqu'il a dit : "Même si nous parvenons d'une manière ou d'une autre à produire assez de nourriture pour la population d'ici l'an 2000, comment pourra-t-on jamais la cuire?" Earl (1975) a mentionné qu'il faut chaque année 76 000 tonnes de bois à brûler pour chauffer 450 séchoirs à tabac, ce qui aggrave encore la situation, et il envisage même l'utilisation de bois de manguier comme combustible.

Quoique tout porte actuellement à encourager les programmes de boisement sous les tropiques, ce qui suppose dans certains cas le remplacement de la forêt naturelle (ne contenant parfois que des quantités très limitées d'essences économiquement intéressantes) par des peuplements à croissance rapide, il ne s'agit pas d'évincer la foresterie de type classique, mais plutôt de la compléter. Un équilibre judicieux entre les deux systèmes permettra de soulager la pauvreté dans les régions en cause, ainsi que de préserver les conditions climatiques et écologiques qui sont un sujet d'inquiétude pour les écologistes du monde entier.

1.2 Milieu édaphique et croissance des arbres

Selon une définition classique, le sol est la formation minérale superficielle à structure meuble qui constitue le milieu naturel où poussent les végétaux terrestres. Il résulte de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence des processus pédogénétiques et des facteurs ambiants, du climat (y compris l'humidité et la température), des macro et micro-organismes et des formes du relief, dont l'action combinée pendant une certaine durée aboutit à un produit, le sol, qui diffère du matériau d'origine par beaucoup de ces caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et morphologiques (Anon 1970). Le sol subvient aux besoins des plantes, leur fournissant la plupart des éléments nécessaires à leur nutrition, et, simultanément, leur servant d'ancrage.

Les mécanismes du prélèvement et du remplacement par les arbres des réserves d'éléments nutritifs contenues dans le sol sont complexes et il n'est pas possible de les examiner en détail dans le présent rapport. Contentons-nous de dire que, pour qu'un sol forestier porte de beaux arbres, il faut que toutes les conditions nécessaires - physiques, chimiques, biologiques et morphologiques - soient convenablement remplies. Les arbres poussent et ils prélèvent sans interrruption dans la solution du sol des éléments nutritifs dont une partie est restituée à la couche superficielle avec la chute de litière. Ce cycle des éléments nutritifs se poursuit jusqu'à ce que, à un certain âge, un équilibre soit atteint entre les quantités retournées et les quantités prélevées. Stark et Jordan (1978) ont décrit un cas observé sous les tropiques où les éléments nutritifs contenus dans la couche de litière restituée à la surface du sol sont absorbés parles racines superficielles de la végétation avec l'aide de certains champignons. La théorie du cycle entièrement organique (O-O) des éléments nutritifs présuppose qu'à ce stade les arbres semblent vivre indépendamment du sol qui se trouve au-dessous d'eux. Mais il faut tenir présent à l'esprit que cette théorie ne s'applique qu'à la forêt-climax naturelle (non exploitée) et non aux plantations. L'équilibre de la forêt-climax naturelle est perturbé par les coupes qui ont pour effet d'exposer directement le sol à l'influence des facteurs climatiques. Il s'ensuit tout d'abord des pertes d'éléments nutritifs et le cycle qui s'établira ensuite dépendra del'espèce plantée ainsi que des réserves contenues dans le sol.

Les essences forestières, surtout celles à croissance rapide, exigent beaucoup du sol. Avec les méthodes d'exploitation actuelles, où il est courant d'enlever la totalité ou la presque-totalité de la biomasse pour alimenter les usines de conversion du bois et satisfaire la demande industrielle, la quantité d'éléments nutritifs biologiquement importants qui disparaît avec chaque récolte peut atteindre plusieurs milliers de kilos à l'hectare - et il peut y avoir jusqu'à dix rotations en l'espace d'un siècle. Ces sols ont une teneur en éléments nutritifs variable qui dépend dans une large mesure des matériaux d'origine, du climat et de la physiologie. Il s'ensuit qu'en cas d'exploitation forestière intensive, ils auront également une biologie très variable (Stark, 1978). On sait que les monocultures, outre

qu'elles modifient le bilan des flux d'éléments nutritifs, changent aussi certaines caractéristiques du sol telles que la couleur, la structure et la densité, ainsi que l'acidité (Hamilton, 1965). Ces modifications peuvent être avantageuses ou préjudiciables pour la production des révolutions ultérieures. Quels que soient les effets des monocultures d'essences à croissance rapide sur les sols tropicaux, le programme d'aménagement devrait viser à éviter des pertes excessives d'éléments nutritifs exportés avec le produit et à maintenir en général le potentiel et la stabilité du terrain.

1.3 Buts de la présente étude

L'élevage de peuplements d'une seule essence sur des révolutions courtes est de plus en plus largement pratiqué, non seulement dans les régions tempérées, mais aussi dans les régions tropicales humides. Les influences exercées sur le sol par ces monocultures, notamment sous les tropiques, n'ont guère été étudiées. L'effet net est certainement fonction de multiples facteurs, parmi lesquels les conditions climatiques, la nature du sol et le type d'arbre planté, avec ses exigences particulières. Toutefois, les points de vue diffèrent en ce qui concerne les problèmes que peut soulever cette forme d'exploitation d'un sol. De l'avis de certains auteurs, les modifications qui se produisent dans l'écosystème forestier ne doivent pas susciter de préoccupations excessives ; pour d'autres, par contre,elles sont plus graves et demandent à être étudiées de beaucoup plus près (Keeves, 1966 ; Chaffey, 1973 ; Lawton, 1973). D'autre part, certains chercheurs ont apporté des preuves que le moindre rendement des révolutions suivantes n'est probablement pas dû à une perte de fertilité du sol. Il est probable que, dans un peuplement naturel exploité de manière occasionnelle et dispersée, les effets de l'appauvrissement en éléments nutritifs sont faibles, voire inexistants. Il ne fait cependant aucun doute que l'enlèvement des arbres en rotations fréquentes sur de vastes superficies conduira à un certain degré de dégradation des caractéristiques physiques, chimiques ou morphologiques du sol, en dépit du cycle des éléments nutritifs.

Il a été nécessaire d'inclure dans la présente étude :

a) un examen détaillé de publications et rapports sur la question, concernant des plantations commerciales et expérimentales et des essais en cours ;

b) une description de la croissance et de l'état de santé actuels de plantations de divers âges, ainsi que des sols et des facteurs édaphiques associés ;

c) une analyse d'études concernant la nutrition de cultures vivaces tropicales - hévéa, palmier à huile, cacaoyer et agrumes - effectuée dans l'optique de problèmes analogues rencontrés avec les peuplements forestiers.

Quant aux études sur le terrain, elles ont intéressé en priorité les espèces *Gmelina arborea* et *Pinus caribaea* . Les objectifs du programme de travail étaient les suivants :

a) étudier de quelle manière les monocultures de *Gmelina arborea* et *Pinus caribaea* modifient les propriétés telles que i) morphologie, ii) caractéristiques physiques et iii) caractéristiques chimiques, des divers types de sol rencontrés dans certaines régions de forêt tropicale humide ;

b) quantifier les pertes absolues d'éléments nutritifs résultant de l'exploitation par arbres entiers à certains stades de la croissance afin que, sur cette base, on puisse éventuellement recommander des méthodes d'aménagement propres à assurer une productivité optimale.

Le bénéficiaire de la bourse d'études, auteur du présent document, est parfaitement conscient qu'il faudrait étudier de manière approfondie l'influence des monocultures sur les populations, la diversité et l'activité des microorganismes du sol, mais il ne possédait ni le matériel suffisant, ni les compétences professionnelles voulues pour aborder le problème sous cet angle.

1.4 La recherche sur l'état des sols portant des essences à croissance rapide

On se rend de mieux en mieux compte que les monocultures d'essences à croissance rapide peuvent avoir pour effet de réduire le potentiel du terrain dans les régions tropicales, subtropicales et même tempérées du monde entier. Etant donné les grandes différences de climat entre ces régions, il est très probable que, quelles que soient les exigences particulières des essences elles-mêmes, la dégradation du sol, si elle se produit effectivement, sera d'une intensité variable selon le régime de précipitations, la température, les matériaux d'origine du sol, les vents, l'altitude, la déclivité et la topographie. Beaucoup de recherches ont été entreprises pour déterminer les effets de l'aménagement forestier sur des caractéristiques pédologiques générales telles que la morphologie, les réserves d'éléments nutritifs, la productivité à longue échéance, les systèmes microbiologiques et le cycle des éléments nutritifs, ainsi que sur d'autres importantes propriétés physiques et chimiques des sols.

1.4.1 Morphologie du sol et incorporation de débris végétaux

L'un des effets les plus évidents de la végétation sur le sol qui la porte est le dépôt de matières végétales mortes - feuilles, brindilles, fruits, branches et même bois de fût. Il en résulte une augmentation de la teneur en matière organique de la couche superficielle du sol qui dans certains cas en assombrit encore la couleur, et qui a pour effet d'améliorer la structure, l'infiltration, l'aération et les processus connexes (Mergen et Malcolm, 1955 ; Challinor, 1968). En fin de compte, l'effet de la chute de la litière dépendra en premier lieu du type de débris végétaux et, en second lieu, du climat. La litière de pin a une plus forte tendance à s'accumuler, formant le mor (comme dans la zone tempérée) qui, à mesure que son épaisseur s'accroît, peut rendre difficile la perpétuation de l'espèce (Handley, 1954). Peut-être, l'un des effets les plus importants de l'enrichissement de l'humus en matière organique après la chute de la litière dans les monocultures de conifères des régions septentrionales tempérées est-il, indépendamment d'une modification du mode de distribution des racines, un certain ameublissement de l'alios (Rennie, 1962).

Sous les tropiques, la litière de pin se décompose probablement plus vite que dans les régions tempérées. Néanmoins, dans les plantations tropicales de pins, le rythme de décomposition de la litière et d'incorporation à l'humus est assez lent en comparaison avec celui observé sous des feuillus tropicaux, qui a été estimé de façon variable à 0,55 pour cent (Stark, 1970) et 1,3 pour cent (Nye, 1961) par jour. Dans des études sur le pitchpin au Queensland (Anon., 1977), on a montré que le maintien de la productivité dépend en partie de la décomposition efficace de la litière et de la libération consécutive des éléments nutritifs, en particulier le phosphore. Le taux de décomposition de la couverture morte forestière, ainsi que ses propriétés physiques et chimiques, ont été déterminées. Au bout de trois années de décomposition, la perte de poids dans les parcelles les plus anciennes, âgées de 22 à 34 ans, était de 52 à 63 pour cent et, dans les parcelles les plus jeunes, âgées de 6 à 18 ans, de 33 à 46 pour cent, ce qui donne une moyenne d'à peu près 50 pour cent. Les concentrations d'azote et de phosphore dans la litière avaient doublé au cours de cette même période, ce qui indique que ces éléments étaient probablement liés au sein de complexes protéiques réfractaires. Les concentrations de potassium avaient également augmenté, d'environ 50 pour cent dans l'ensemble. Les concentrations de calcium, magnésium, et sodium étaient restées à peu près les mêmes, quoique chacune ait présenté un schéma de variation différent au cours de la période detrois ans considérée.

1.4.2 Propriétés physiques du sol

Page (1968) a suggéré que les principales modifications des paramètres physiques du sol résultant de la plantation forestière se produisent à la surface ou au voisinage de celle-ci et sont liées à l'apport de matière organique par la litière feuillue. Les recherches qu'il a effectuées sur la première révolution de plantations de conifères au Pays de Galles ont montré que les caractéristiques pédologiques avaient tendance à retrouver leurs valeurs originelles lorsque les arbres atteignaient 25 à 30 mètres de haut. Cet effet a été attribué au

réenvahissement par la couverture vivante à mesure que les peuplements devenaient moins serrés. Page est allé plus loin, prédisant que dans la même zone la deuxième révolution serait aussi bonne que la première. Par contre, en Saxe, le rendement de plantations successives d'épicéas a diminué, ce que Wiedermann, cité par Chaffey (1973) a expliqué par un mauvais drainage du sol lourd, ayant pour effet de confiner le système radiculaire dans les couches d'humus brut accumulées en surface ; les racines n'absorbaient donc pas suffisamment d'eau par temps sec. Cette explication a été acceptée par plusieurs auteurs (Savory, 1966 ; Krauss et al., 1939 ; Muir, 1970). La dégradation de la structure par manque de matière organique est un danger que peut courir un sol agricole (Odland et al., 1950) mais elle n'affecte pas en général les sols forestiers. La plupart des déformations structurelles de ces derniers résultent directement de la compaction provoquée par les empilements de grumes, par le traînage du bois sur les chemins de débuscage et de débardage, ainsi que par l'emploi général de machines lourdes dans les opérations forestières (Hatchell et al.; 1970).

Toutefois, les observations relatives aux effets d'un couvert forestier sur le sol qui le porte sont souvent contradictoires. Challinor (1968) a constaté que la transformation d'un sol compacifié de pâturage en un sol forestier poreux procédait au même rythme sous quatre essences - épicéa, chêne rouge, pin argenté et pin rouge - rien ne démontrant que les conifères aient été particulièrement nocifs ou le chêne particulièrement bénéfique. Au Kenya, la comparaison entre le sol d'une plantation de cyprès âgée de seize ans et celui de la forêt indigène essentiellement feuillue n'a fait apparaître aucune différence entre leurs caractéristiques physiques (Robinson et al., 1966). Rennie (1962) et Page (1968) concordent pour dire que le boisement détermine une amélioration de l'aération et de la porosité dans les horizons supérieurs des sols de forêts. On a observé une dégradation des propriétés physiques du terrain sous certaines essences feuillues. L'érosion des sols sableux sous le teck commence à être préoccupante en Inde, à Java et dans d'autres pays (Wood et Dawkins, 1971). Hamilton (1965) a noté une augmentation de la densité apparente et une diminution de la teneur en matière organique après conversion des forêts d'Eucalyptus en plantations de pinus radiata en Australie du sud. Des études effectuées par Lundgren (1978) dans des plantations de Pinus patula et Cupressus lusitanica sur des latérosols des monts Usambara en Tanzanie, ont indiqué une tendance à une amélioration initiale de la structure du sol (augmentation de la teneur en matière organique et de la porosité, réduction de la densité apparente) pendant les quatre à huit premières années, suivie par une période de dégradation pendant les dix à ving années consécutives correspondant au stade de densité et de croissance maximales de ces peuplements. A un âge plus avancé, enfin, la structure du sol s'est améliorée à nouveau. Aucune tendance analogue n'a pu être discernée dans des plantations des mêmes essences sur des andosols du Mont Meru.

Les propriétés hydrologiques du sol pourraient être affectées par le feu. Debano et Rice (1970) ont indiqué que la mouillabilité du sol peut être réduite par l'accumulation de substances hydrophobes dégagées par la végétation en train de brûler.

1.4.3 Propriétés chimiques du sol

Comme il en est avec les propriétés physiques, les principales modifications des propriétés chimiques du sol, associées à la foresterie de plantation se produisent à la surface ou à proximité de celle-ci, et sont liées à l'apport de matière organique (Page, 1968). Les réserves d'éléments nutritifs contenues dans un sol dépendent de la nature des matériaux d'origine. Les modifications du stock d'éléments nutritifs assimilables peuvent soit résulter directements des exportations avec la récolte du bois, soit être la conséquence indirecte de variations du pH et de l'immobilisation d'éléments nutritifs. Rennie (1962) a indiqué que les feuillus, aussi bien que les conifères, mais plus spécialement les seconds, provoquaient la dégradation de podzols où poussait précédemment Calluna en Grande-Bretagne, en déterminant une plus forte immobilisation des éléments nutritifs dans l'humus et en épuisant le calcium et autres éléments dans les horizons inférieurs. Un appauvrissement analogue des sites a été observé dans des savanes à sol sableux lessivé (Fishwick, 1964). On a également signalé l'enlèvement d'importantes quantités de calcium et de magnésium, ainsi que de la plupart des éléments de base, par les feuillus tropicaux (Nwoboshi, 1972 ; Lundgren, 1978 ; Chijioke, 1978 ; Golley et al., 1975 ; Lamb, 1968 ; Seth et al., 1963 ; Sanchez, 1973), et une exportation de phosphore relativement supérieure à celle des minéraux de base par les conifères

(Evans, 1976 ; Seth et al., 1963 ; Hamilton, 1965 ; Robinson et al., 1966). Dans une plantation de palmier à huile d'Afrique de l'Ouest, Kowal et Tinker (1959) ont observé qu'après un accroissement initial du stock de K échangeable pendant les cinq premières années suivant le défrichement, le brûlage et la plantation, il se produisait une perte très importante de cet élément pendant les onze années consécutives, ainsi qu'une perte plus petite de magnésium, mais aucune perte grave d'autres éléments nutritifs. Ils ont suggéré que sur ces sols, la fertilisation avec ces deux éléments permettrait de maintenir les plantations dans un état d'équilibre pendant de très longues périodes. Une étude comparée de l'influence exercée sur le sol par des plantations de teck et de séné (Nwoboshi, 1972) a montré que le séné, qui est une légumineuse, est probablement plus efficace du point de vue de la mobilisation des éléments minéraux de base, mais que ceux-ci sont préférentiellement fixés par le teck.

On ne possède guère de données sur les rendements à escompter de la deuxième révolution dans des plantations de conifères installées dans des régions tropicales et subtropicales. Les résultats d'études effectuées sur des sols du Swaziland, pour comparer des sites à bonne et à médiocre deuxième révolution, ont montré la possibilité de modifications de la flore de mycorrhizes entre les révolutions, tant du point de vue qualitatif que de celui de l'ampleur de l'association, sur les sites où la croissance de la deuxième révolution était moins bonne (Robinson, 1971, 1973, cité par Evans, 1976). Lundgren (1978) a constaté que, sur les latérosols de la zone occidentale des monts Usambara en Tanzanie, les stocks de P et de K contenus dans le sol, aussi bien sous forme assimilable qu'à l'état de réserves, diminuaient nettement avec l'âge des plantations de P. patula et C. lusitanica, les tendances étant moins claires pour Ca et Mg. Le pH est généralement plus élevé sous le couvert des pins que sous le couvert des cyprès. En revanche, sur les andasols du Mont Meru, les stocks totaux d'éléments nutritifs étaient très abondants en comparaison avec les besoins des plantations et aucune tendance n'était discernable dans l'évolution des propriétés chimiques du sol avec l'âge des peuplements.

Dans le cas des forêts tropicales semper virens de la Trinité converties en plantations de Pinus caribaea, Cornforth (1970) a observé une perte d'azote pendant les quatre ans suivant le brûlage de la forêt originelle, le stock retrouvant toutefois son niveau initial au bout de dix ans ; par contre, la teneur en phosphore diminuait pendant sept ans et ne remontait jamais jusqu'à sa valeur initiale. L'augmentation des réserves de potassium, de calcium et de magnésium, consécutive au brûlage, était réduite à néant au bout de quatre ans. La réduction des réserves d'éléments nutritifs, provoquée par le reboisement était particulièrement marquée dans les zones à pente abrupte et à très forte pluviosité. La proportion des réserves initiales perdue au bout de six ans atteignait 74 pour cent.

1.4.4 Cycle des éléments nutritifs

Dans la zone tempérée, Wilde et Patzer (1940) ont constaté que les sols de plantations de Pinus resinosa âgées de moins de vingt ans conservaient la plupart des caractéristiques qui étaient les leurs à l'époque de la plantation. Les sols portant des peuplements plus âgés présentaient toutefois des améliorations marquées dues au dépôt prolongé d'une litière enrichie d'éléments nutritifs à l'incorporation directe par lessivage d'éléments nutritifs solubles (Wilde et Iyer, 1962). Wilde (1964) a suggéré que le degré d'enrichissement du sol varie considérablement selon l'âge, la composition, la densité et le taux de croissance du peuplement et le potentiel productif du terrain. Dans des études sur l'évolution de sols de plantations en Grande-Bretagne, Ovington (cité par Florence, 1967) a montré qu'au bout de 20 à 45 ans, les quantités de carbone organique, d'azote total, de sodium, de potassium et de phosphore étaient toutes modifiées en fonction du type d'arbre et du tapis végétal associé. Dans des forêts de conifères mélangées des Sierras (Etats-Unis), on a constaté que les quantités de phosphore, d'azote et de calcium plus magnésium contenues dans le sol augmentaient dans l'ordre pin de Bentham, cèdre à crayons et sapin de Douglas, le pH le plus élevé étant observé sous le cèdre à crayons et le plus bas sous le pin de Bentham (Zuike, 1956). Pokhiton (1958) a fait valoir les avantages des forêts mélangées sur les peuplements purs de pins, ayant découvert que la teneur en azote du sol de plantations de pins/feuillus en proportions égales était plus élevée que celle des plantations de pins, tandis qu'une tendance à la réduction des réserves d'éléments nutritifs sous les conifères avait été signalée par divers auteurs (Waring, 1963, Hamilton, 1964). La teneur en éléments nutritifs de la litière est variable, étant donné les proportions variables de feuillus, bois, écorces, parties de fruits et de fleurs qui la composent.

Etant donné les extêmes climatiques qui caractérisent les tropiques - par exemple humidité, température et pluviosité très élevées - il faut s'attendre à des rythmes de minéralisation plus rapides et à des taux de recyclage plus élevés des éléments nutritifs, très supérieurs à ceux observés dans les régions tempérées (Stark, 1970; Nye, 1961; Jenny et al., 1949). On a montré que les sols des forêts tropicales contiennent davantage d'azote et de matière organique que ceux des forêts tempérées, les quantités étant généralement de l'ordre de 8 500-12 000 kg/ha de N dans le premier cas et de 920-3 150 kg/ha de N dans le second, sous la forme de feuilles et de brindilles (Jenny et al., 1949). Jenny a calculé que le temps nécessaire pour approcher l'état d'équilibre dans l'accumulation de la couverture morte est de moins de dix ans pour les forêts tropicales, de trente à soixante ans pour le chêne de Californie et de cent à deux cents sous le pin de Banthan.

Au Swaziland, Evans (1978a) a rendu compte d'une analyse comparative d'échantillons de sol prélevés à neuf ans de distance dans les mêmes fossés pédologiques, dans des peuplements de Pinus patula non perturbés ; il a observé de légères augmentations de l'acidité, un appauvrissement en la plupart des éléments nutritifs testés et une accumulation considérable de litière. L'élévation du pH et les pertes de N, Ca et Mg étaient toutes importantes, mais il n'y avait pas de modification notable des quantités de P ni de K.

Le cycle des éléments minéraux dans l'écosystème de la forêt tropicale humide, soit-elle naturelle ou artificielle, a été décrit de façon très vivante par Golley et al., (1975). L'auteur s'exprime ainsi : "Le cycle des éléments minéraux est très souvent étudié comme s'il s'agissait d'un processus dynamique isolé, analogue au flux énergétique. En réalité, la concentration et la mobilisation des éléments dans l'écosystème forestier est un processus complexe, qui varie pour chacun en fonction de sa chimie physique, de sa géochimie et de sa biochimie. Les rapports entre les caractéristiques physiques de chaque élément et sa stabilité, sa réactivité et sa dimension nucléaires sont d'une importance fondamentale pour expliquer la chimie forestière. Toutefois, les éléments sont répartis dans toute une variété de combinaisons chimiques plutôt que présents isolément, et ces composés sont le résultat de processus géochimiques, tels que la formation et la désagrégation des roches, la formation et le lessivage des sols. En outre, les plantes et les animaux concentrent et accumulent les éléments présents dans la phyllosphère, l'atmosphère et l'hydrosphère et font des distinctions à l'encontre de certains d'entre eux. La distribution et le cycle de tel ou tel élément peuvent être expliqués par l'interaction entre ces trois séries de phénomènes chimiques". Le phosphore est relativement plus rare dans les sols que certains autres éléments essentiels. Il est assez peu abondant dans les roches éruptives et dans les schistes, mais il est indispensable aux organismes vivants. Par ailleurs, le calcium est abondant dans la lithosphère et il est un constituant essentiel des parois cellulaires. Il s'ensuit que les quantités de phosphore retenues dans la biomasse forestière peuvent être faibles et celles de calcium très importantes. Les apports et les enlèvements imputables à la source géologique sont le plus souvent liés aux gains et aux pertes dus à l'érosion et, peu fréquemment, à des forces géologiques majeures telles que l'activité volcanique ou un important soulèvement de terrain. Dans un paysage relativement stable, les apports provenant de sources géologiques sont habituellement très faibles et les exportations sont représentées par la charge solide des cours d'eau. Les sources géologiques reflètent la composition et les taux de désagrégation pour des zones et types particuliers de roches et de minéraux et les pertes sont donc extrêmement variables d'un sol à un autre. Ces pertes et ces gains, qui peuvent être déterminés par lysimétrie, n'ont pas été largement étudiés pour des systèmes forestiers typiques, sauf par Golley (1975), mais on a jusqu'ici considéré qu'ils se compensaient et qu'ils ne menaçaient pas sérieusement l'état d'équilibre des éléments nutritifs dans le sol.

Les quantités apportées et exportées par l'atmosphère, qui englobent les apports provenant de la pluie et des échanges gazeux, ainsi que de la phyllosphère et de la fixation symbiotique et non symbiotique, représentent un élément très important du cycle des éléments nutritifs dans les forêts tropicales. Les inputs d'éléments nutritifs imputables aux précipitations ont été étudiés pour le Ghana (Nye, 1961), pour Porto Rico (Edmisten, 1970), pour la Malaysie (Kenworthy, 1971) et pour le Panama (Golley et al., 1975) (tableau 1.1).

Tableau 1.1

ELEMENTS NUTRITIFS FOURNIS PAR LA PLUIE

Précipitations cm	N Kg/ha/an	P Kg/ha/an	K Kg/ha/an	Ca Kg/ha/an	Mg Kg/ha/an	Région
185	14,0	0,41	17,5	12,7	11,3	Ghana
300	14,0	-	-	-	-	Porto Rico
230	-	-	12,5	14,0	3,3	Malaisie
193	-	1,41	9,51	29,29	4,87	Panama

Si l'on multiplie les apports annuels d'éléments nutritifs provenant des précipitations par les âges des peuplements, on peut constater que, pour la plupart des éléments, les quantités fournies par la pluie sont à peu près égales, voire supérieures, aux quantités exportées lors de la récolte du bois de fût de la forêt naturelle.

1.4.5 Productivité à long terme des monocultures forestières

Dans sa troisième évaluation de 53 paires de placettes d'échantillonnage dans des peuplements de Pinus patula à Usutu, Evans (1978b) a constaté une légère réduction(de 6 à 8 pour cent)de la productivité de la deuxième révolution à l'âge de 14 ans, en comparaison avec la première révolution du même âge croissant sur des sites analogues. Des mesures antérieures effectuées sur les mêmes peuplements aux âges de 6 et 10 ans avaient montré une amélioration de la productivité à la deuxième révolution. Cet auteur a attribué en partie la baisse de la productivité à un raccourcissement notable de la saison des pluies, en particulier pendant les trois années antérieures. Orman et Will (1960) ont étudié la dégradation de sites portant des peuplements de Pinus radiata du point de vue des pertes d'éléments nutritifs résultant de la coupe rase et ils ont constaté que, dans un arbre parvenu à maturité (26 ans), la cime (branches et aiguilles) contenait moins de 10 pour cent de la teneur totale en éléments nutritifs. La coupe rase du peuplement soustrait donc à un site davantage d'éléments nutritifs qu'elle n'en laisse sur le sol avec les rémanents. Une diminution du rendement et du degré de qualité du site dans des replantations de Pinus radiata en Australie du sud a également été signalée par Keeves (1966).

Lewis (cité par Evans, 1978b) a indiqué que jusqu'à huit révolutions d'Acacia mearnsii ont été récoltées sur un site sans que l'onait pu observer de réduction manifeste de la croissance, mais les révolutions étaient brèves et comme il s'agit d'une légumineuse, il est possible que son attitude à la fixation de l'azote ait eu quelques effets avantageux. Avec des eucalyptus, la croissance des deuxième et troisième révolutions de taillis a généralement été moins bonne que celle de la première (Champion et Brasnett, 1958). Quoique cela puisse s'expliquer par un affaiblissement de la souche mère, une autre cause possible pourrait être l'impossibilité d'assimilation physiologique des éléments nutritifs sur le site considéré.

La moins bonne croissance de la deuxième révolution de peuplements purs de teck en Inde et à Java a attiré l'attention sur le "problème du teck pur" (Laurie et Griffith, 1942 ; Griffith et Gupta, 1948). Par ailleurs, Evans (1976) indique que, selon Mobbs, il n'y a eu aucun signe de réduction de la croissance sur des sites des collines de Nilambur, même après trois révolutions de teck. On n'a pas non plus observé de dégradation de la qualité du site dans des replantations de teck au Kerala (Inde, 1974). A la Trinité, on craint qu'une érosion excessive des sols sous le teck n'entraîne une baisse des rendements de la deuxième révolution et des révolutions ultérieures (La Trinité, 1974). Rennie (1957) a observé en Grande-Bretagne

que les quantités d'éléments nutritifs extraites par les arbres augmentent dans l'ordre suivant : pins,autres conifères et feuillus, - et surtout, dans le dernier cas, les prélèvements de calcium. A l'intérieur de chacun de ces groupes, les taux d'absorption les plus élevés étaient associés aux meilleurs sites et aux meilleurs taux de croissance. L'auteur a fait valoir que le seul moyen d'estimer la capacité de production de bois d'un site quelconque est de connaître la capacité du sol à reconstituer les stocks d'éléments nutritifs perdus lors de la récolte. Lundgren (1978) a conclu que, sur des latérosols et autres sols naturellement infertiles des régions tropicales humides et semi-humides, et en l'absence de mesures spéciales d'aménagement des sols, la conversion des forêts naturelles en plantations d'essences à croissance rapide, avec une révolution de courte durée, aura pour résultat inévitable une détérioration des sols qui se manifestera par un appauvrissement du contenu en matière organique et en substances nutritives et par une dégradation de la structure de la couche superficielle, avec perte de porosité. La rapidité de la détérioration sera fonction de l'état initial du sol, du climat, des méthodes d'aménagement et d'essence utilisée - mais elle compromettra en définitive la croissance des arbres. Sur les sites les plus favorables, il n'y aura peut-être pas d'effets notables pendant deux ou trois révolutions, mais sur les terrains pauvres et très arrosés, les effets pourraient apparaître dès la deuxième révolution.

Il est important de noter que la plupart des études sur la baisse des rendements et la dégradation des sites mentionnent principalement des régions subtropicales et des régions tempérées chaudes et donnent peu d'exemples concernant les tropiques. En outre, il est rare qu'elles soient présentées de façon sériée, par principaux types de sols ou méthodes d'aménagement forestier, et cela explique que leurs conclusions soient souvent contradictoires.

Selon une étude effectuée par Hatchell et al., (1970), le dérangement de la structure du sol consécutif à l'exploitation forestière semblerait extrêmement préjudiciable à l'implantation et à la croissance du pin à l'encens, en raison de la forte compaction du sol associée à son humidité excessive. Les plus grands dommages se produisent par temps de pluie et sur les bas-fonds boisés dont les sols ont une granulométrie moyenne à fine. En conséquence, ces auteurs ont recommandé que l'exploitation forestière y soit limitée à quelques zones essentielles dont l'état productif pourrait éventuellement être restauré par passage de la charrue à disques, sous-solage ou quelque autre type de technique culturale. Par ailleurs, sur des sols secs, initialement poreux, un ou deux passages ne causeront guère de dommages ; néanmoins , le trainage des grumes devrait être dispersé sur de nombreux itinéraires différents. On voit donc que les baisses de productivité communément signalées ne sont pas forcément liées à tel ou tel facteur particulier - physique, chimique ou biologique - mais que tous agissent de concert pour produire une réduction nette. Autrement dit, la productivité varie considérablement selon le bilan des facteurs favorables et défavorables (Boardman, 1978).

1.5 Pratiques modernes en agriculture tropicale

Pendant plusieurs décennies, l'agriculture et l'horticulture tropicales ont appliqué des méthodes d'exploitation intensive à des cultures permanentes telles que le palmier à huile, l'hévéa, le caféier, le cacaoyer, le kolatier, l'anacardier et les agrumes, etc. L'expérience a montré que les rendements diminuaient au bout d'un certain nombre d'années de production. Parmi les nombreuses causes possibles de ce fléchissement, on peut citer des déséquilibres entre les éléments nutritifs contenus dans le sol, la prolifération d'agents pathogènes ou des modifications microbiologiques défavorables, et une dégradation des propriétés physiques du sol qui peut empêcher la mobilisation des éléments nutritifs et l'utilisation de l'eau.

Le palmier à huile (Elaeis guineensis)est trouvé en bosquets naturels ou demi-sauvages et il est cultivé dans la plus grande partie des tropiques entre 15° de latitude Nord et 15° de latitude Sud. La production commerciale sur une grande échelle se concentre en Asie du Sud-Est, mais on s'y intéresse aussi de plus en plus en Afrique, ainsi qu'en Amérique du Centre et du Sud. Le palmier à huile peu croître sur une grande variété de sols tropicaux, depuis les terrains sableux jusqu'à ceux dérivés du socle cristallin. Les études effectuées

au Nigeria et au Congo (maintenant Zaïre) montrent qu'il absorbe des quantités considérables d'éléments nutritifs. Les tableaux 1.2 et 1.3 donnent une estimation des quantités exportées ou immobilisées dans des plantations âgées de 20 et 22 ans ; ces évaluations sont fondées sur des rendements moyens en régimes de 1 060 kg/ha/an au Nigeria et 1 371 kg/ha/an au Zaïre (Anon. NIFOR, 1978).

Tableau 1.2

TENEUR EN ELEMENTS NUTRITIFS DES PALMIERS A HUILE AU NIGERIA

Nigeria	Kg/ha N	P	K	Mg	Ca
Troncs	220	35	150	165	110
Feuilles	170	20	100	65	110
Racines	70	5	90	30	14
Régimes 1/	430	90	500	65	76
TOTAL	890	150	840	325	310

Tableau 1.3

TENEUR EN ELEMENTS NUTRITIFS DES PALMIERS A HUILE AU ZAIRE

ZAIRE	Kg/ha N	P	K	Mg	Ca
Troncs	649	119	252	164	270
Feuilles	64	6	53	10	257
Racines	84	9	86	34	11
Régimes 1/	564	97	585	82	88
TOTAL	1 361	231	985	260	386

Une évaluation effectuée par le Nigeria Institute for Oil Palm Research indique que :

a) la majeure partie des éléments nutritifs sont emmagasinés dans le tronc ou exportés dans les régimes de fruits ;

b) les quantités présentes dans les feuilles et les racines sont relativement faibles ;

c) d'importantes quantités d'azote et de potassium sont nécessaires pour le tronc et les fruits ;

1/ Somme des récoltes annuelles

d) les exigences de phosphore, de calcium et de magnésium sont beaucoup plus faibles ;

e) la majeure partie - et de loin - l'importante quantité de potassium requise est exportée dans les régions de fruits et définitivement perdue pour le sol ; à peu près la moitié de l'azote et du phosphore totaux sont définitivement exportés dans les régimes de fruits, mais il y a peu de pertes de magnésium et de calcium.

La culture de l'hévéa est aussi très répandue sous les tropiques. Des sols bien drainés d'une granulométrie grossière à moyenne sont spécialement recommandés. Indépendamment des pertes dues au lessivage, des quantités beaucoup plus importantes d'éléments nutritifs sont prélevées et immobilisées pendant un certain temps par les plantes de la couverture vivante et sont retenues de façon plus permanente dans les troncs et les branches. Dans le cas de plantations malaisiennes, Watson (1964, 1973) a rapporté que sur un certain site, huit ans après l'écussonnage, la quantité totale de calcium, de magnésium et de potassium présente dans les arbres était d'un ordre analogue à la teneur en cations des 30 centimètres superficiels du sol ; trente-trois ans après l'écussonnage, les quantités de potassium et de magnésium immobilisées équivalaient presque à leurs concentrations totales respectives dans les 100 centimètres superficiels du sol et la quantité de calcium était, quant à elle, supérieure (voir tableau 1.4, p. 12). Watson en a tiré deux conclusions importantes, à savoir en premier lieu que les éléments nutritifs sont progressivement immobilisés à l'intérieur des arbres eux-mêmes, d'où épuisement de la fraction la plus facilement assimilable du stock contenu dans le sol et nécessité d'une fertilisation régulière, et, en second lieu, qu'il serait très avantageux que les éléments nutritifs présents dans des peuplements âgés puissent être retournés au sol lors de la replantation. L'enlèvement des hévéas abattus signifie une perte substantielle d'éléments nutritifs et le site entre donc dans son deuxième cycle de plantation dans un état d'appauvrissement extrême, les carences en substances nutritives devenant rapidement apparentes. Dans les plantations d'hévéas bien aménagées, on pare à ce risque en appliquant régulièrement des engrais. Les doses d'applications recommandées (Watson, 1973) peuvent aller jusqu'à 320 kg/ha/an, contenant 75 kg d'éléments nutritifs sous forme élémentaire (N,P,K,Mg).

Le cacaoyer est une autre culture de plantation pratiquée sur une grande variété de sols, dérivés par exemple de roches basaltiques (monsonite) au Brésil, de granit/gneiss avec des veines d'injection basiques en Afrique et de roches sédimentaires et métamorphiques à la Trinité. Les prélèvements effectués dans les réserves minérales du sol sont assez abondants et, par conséquent, les bons sols à cacaoyer doivent généralement être riches en substances nutritives. Les données de Zeller (cité par Dierendonck, 1959) montrent qu'à la Guadeloupe, la production de 1 000 kg de fèves séchées exige du sol 20 kg de N, 4,4 kg de P, 10,46 kg de K, 1,61 kg de Ca et 3,2 kg de Mg. A la Trinité, selon Hardy, dans 1 000 kg de fèves et cosses sèches de cacao, on trouve 44 kg de N, 3,6 kg de P et 53 kg de K, et, dans ce même pays, Humphreys a constaté que 600 kg de graines séchées correspondant à environ 1 000 kg de cabosses sèches ou 5 000 kg de fruits frais, renfermaient 65 kg de substances minérales, dont 22,4 kg de K, 2,6 kg de P, 3,6 kg de Ca et 4,8 kg de Mg, outre environ 16 kg de N, dont 70 pour cent sont contenus dans l'enveloppe du fruit (Dierendonck, 1959). Il ne faut cependant pas oublier que les chiffres ci-dessus ne représentent qu'une partie du total des éléments nutritifs exportés chaque année par la culture, le reste se trouvant stocké dans les organes végétatifs.

Une bonne récolte de 16 800 kg/ha de tubercules de manioc, culture connue comme très épuisante, contient à peu près 37 kg de N, 5,0 kg de P, 97 kg de K, 9 kg de Ca (Nye, 1958). Nye et Greenland (1964) ont calculé une perte de 1 200 - 1 700 kg/ha de Ca, 500 - 800 kg/ha de K et 250 - 350 kg/ha de Mg dans les 30 cm superficiels du sol au bout de deux ans de culture et de récolte mécanisées du maïs/manioc au Ghana. Sur ces totaux respectifs, 100 kg seulement de Ca, 400 kg de K et 50 kg de Mg étaient définitivement exportés avec la récolte ; le reste était perdu par lessivage ou érosion.

Des pertes analogues sont décrites dans le cas du caféier. Dans tous les cas, par conséquent, des quantités substantielles d'éléments nutritifs sont soustraites au site lors de la récolte ou par suite du lessivage ou de l'érosion. On ne peut guère escompter que les cultures d'essences forestières à croissance rapide, pratiquées de manière analogue aux cultures précitées amélioreront la productivité du sol ; en l'absence de mesures correctives, il est beaucoup plus probable qu'elles la réduiront.

Tableau 1.4

INVENTAIRE DES ELEMENTS NUTRITIFS MOBILISABLES DANS UNE PLANTATION D'HEVEAS

(kg/ha)

		K		Ca		Mg		N	P
		Total	Echangeable	Total	Echangeable	Total	Echangeable		
Sol									
Dérivé du granit, 4 ans après le défrichage de la jungle	0–30 cm	444	162	308	208	132	56		
	0–100 cm	1 221	329	650	409	358	125		
Plantes de couverture									
Légumineuses rampantes 2 ans après la plantation		109,4		114,0		33,5		283,5	24,5
4 ans après la plantation		23,9		42,9		6,8		106,5	6,8
Hévéas (Clone RRIM 501)									
2 **ans après** l'**écussonnage** : 450 arbres/ha		41,6		34,8		14,1		72,1	7,2
4 **ans après** l'**écussonnage** : 413 arbres/ha		187,3		168,4		62,7		350,7	30,0
8 **ans après** l'**écussonnage** : 325 arbres/ha		289,9		414,6		85,0		558,0	49,4
33 **ans après** l'**écussonnage** : 270 arbres/ha		1 050,7		1 796,0		323,2		1 602,2	227,1
Restitution annuelle de litière :									
Ecussonnage remontant à 4 ans : feuilles seulement :									
413 arbres/ha, bonne couverture de rampantes		1,9		109,3		5,8		44,2	5,3
couverture vivante de graminées		0,9		31,2		2,6		20,6	3,6
Ecussonnage remontant à 11 ans ; 295 arbres/ha, **feuilles et branches**		20,0		193,3		9,4		114,2	5,4
Ecussonnage remontant à 31 ans : 220 arbres/ha, **feuilles et branches**		14,3		57,7		6,2		78,2	2,9

CHAPITRE 2

EMPLACEMENT DES ZONES ETUDIEES

La présente étude a été effectuée dans des régions tropicales humides situées entre 5° et 22° de latitude Nord. L'auteur s'est rendu dans d'importantes zones de plantations au Nigeria, en Sierra Leone, en Gambie, dans le Nord du Brésil, au Suriname et au Belize (voir figure 2.1). Les essences étudiées étaient *Gmelina arborea* et *Pinus caribaea*.

2.1 Végétation naturelle

Dans les zones relativement non perturbées, on peut trouver la futaie tropicale climacique, généralement plurispécifique. De très nombreux types de végétation sont discernables dans la région géographique étudiée, mais, sur la côte ouest de l'Afrique, la forêt ombrophile des plaines où sont installées les plantations du Nigeria, la forêt ombrophile semi-caduque de la Sierra Leone et la savane arborée semi-caduque de la Gambie méritent une mention particulière. Toutefois, il ne s'agit pas toujours de forêts-climax et on trouve aussi de nombreuses forêts secondaires et dégradées d'essences résineuses à croissance rapide. Les forêts tropicales humides semper virens du Brésil, du Suriname et du Belize sont équivalentes aux forêts ombrophiles tropicales d'Afrique de l'Ouest. Ces forêts comprennent un grand nombre d'essences ligneuses, pour la plupart à feuillage persistant. Certains des arbres de haute taille sont soutenus à la base de leur tronc par des contreforts en forme de planche. Les lianes et les épiphytes sont bien apparentes et, dans les régions tropicales du continent américain, les épiphytes *Orchidaceae* et *Bromeliaceae* représentent habituellement un constituant important de la forêt (FAO, 1971).

2.2 Climat

2.2.1 Répartition des précipitations

Les zones étudiées se trouvent sous l'influence des alizés et de la mousson, et la distribution des précipitations y est le plus souvent bimodale, allant de 1 500 mm par an en Gambie à 3 040 mm par an dans la zone du Stan Greek au Belize. Les périodes de temps sec, d'une durée de 3 à 6 mois, se situent entre novembre et mars en Afrique de l'Ouest et dans les parties septentrionales de l'Amérique centrale, et entre juillet et décembre dans les zones plus proches de l'Equateur en Amérique du Sud.

2.2.2 Températures

Comme on pouvait s'y attendre, cette région géographique est caractérisée par des températures élevées ne tombant jamais au-dessous de 20° C pendant la journée, et atteignant assez fréquemment 30° C.

2.3 Géologie et types de sols

La géologie de la zone étudiée est très variée, avec un socle cristallin d'anciennes roches granitiques acides et de gneiss dans certaines parties du Nigeria et de la Sierra Leone, et des dépôts assez récents de sables, de schistes argileux et de grès comme on peut en voir sur le plateau continental de la Gambie, dans les biefs supérieurs de l'ancienne vallée du Niger - Bénoué, dans l'Etat de Bendel au Nigeria et dans certaines parties de l'Amazonie.

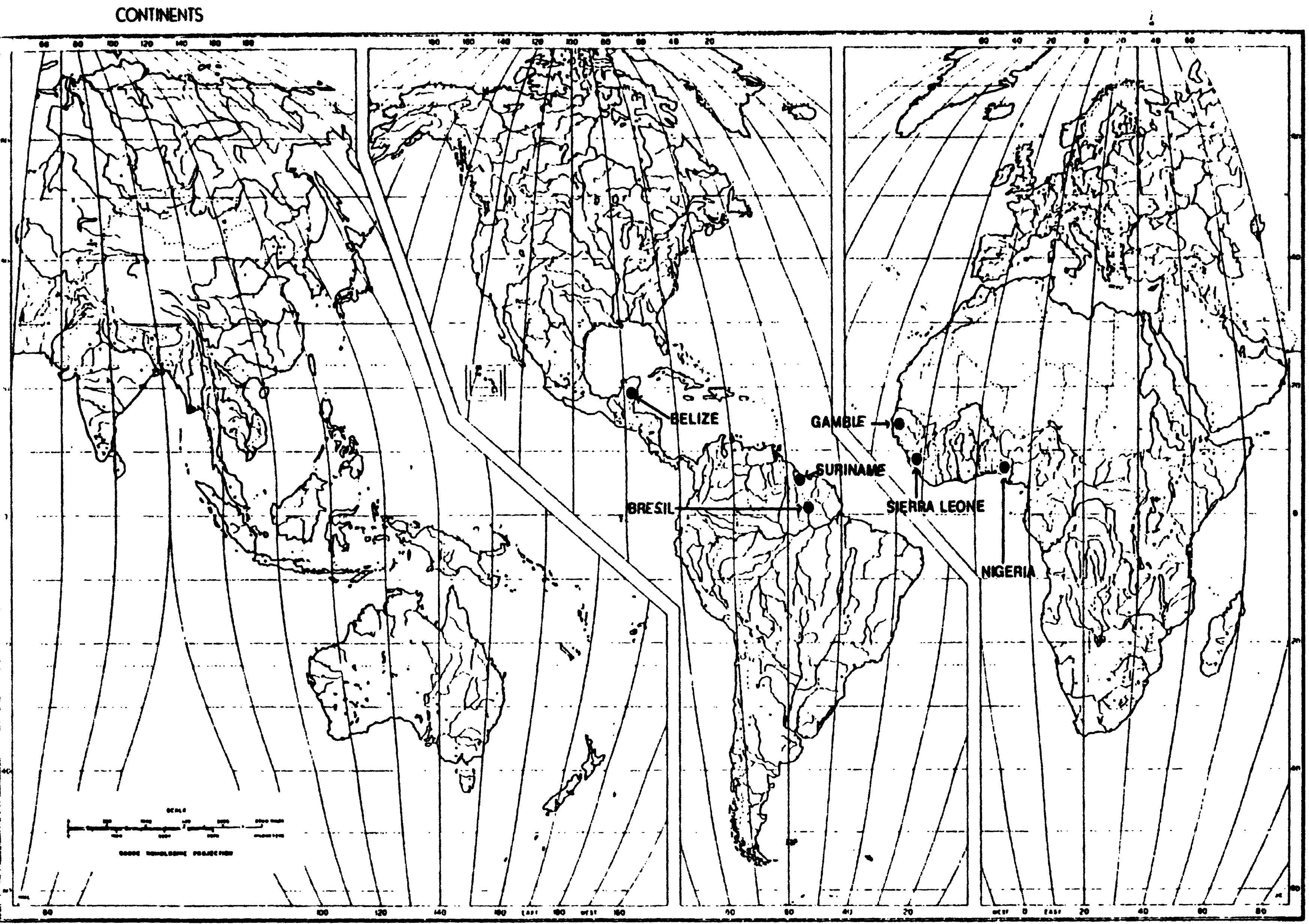


Figure 2.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE DES ZONES ETUDIEES

2.3.1

L'axe Uromi-Ubiaja de l'Etat de Bendel au Nigéria est situé sur la formation pédologique dominante du delta du Bénin. Ces "sables acides", comme on les appelle, ont une coloration d'un rouge profond et ils sont de bien à excessivement bien drainés et profonds. Dans le système mondial de classification (FAO/Unesco, 1974), on les rangerait généralement dans la catégorie des nitosols eutriques. On trouve également quelques arénosols en association avec ce type dominant.

Les sols de la zone d'Omo-Ajebandele se sont formés sur le socle cristallin et les types dominants sont ceux qui ont été localement décrits sous les noms de séries Iwo et Egbeda (Smyth et Montgomery, 1962). Ils correspondent approximativement aux luvisols ferriques du système mondial de classification. Sur les pentes inférieures et dans les vallées des cours d'eau, on trouve en association des manteaux détritiques de la série Apomu correspondant aux cambisols eutriques (FAO/Unesco, 1974).

2.3.2 Sierra Leone

Les plantations de Gmelina sont principalement situées sur les sols de granite et de gneiss acides dérivés du socle cristallin que l'on trouve sur le plateau intérieur et dans la région des collines qui s'étend depuis le nord du pays jusque vers la province orientale. Les sols de cette zone correspondent principalement aux ferralsols plinthiques (FAO/Unesco, 1974). Des grès ferrugineux, du quartz et des graviers de roche fraîche en décomposition sont présents en quantités, formes, couleurs et duretés variées, en différentes combinaisons avec beaucoup de ces sols.

Des alluvions du Pléistocène et des alluvions récents, localement appelés "série Bullon" (Odell et al., 1974), sont très répandus dans les zones côtières et c'est principalement sur des sols de ce type qu'ont été installées les plantations de pins de la zone de Bradford. Ils entrent de manière générale dans la catégorie des fluvisols eutriques. La gamme de colorations du sous-sols n'est pas très large. Les nuances rouges et brunes sont associées aux pentes abruptes et bien drainées, les colorations jaunes et d'un brun-rougeâtre aux sols modérément bien drainés et à pente plus douce, les colorations marbrées et grises aux sols médiocrement drainés ou très engorgés du fond des vallées. Les sols de la province orientale (Stark, 1968) ont de faibles capacités d'échange de bases et ils contiennent une très petite quantité totale de bases échangeables. Le taux de saturation en bases est partout très bas. La réaction du sol va d'acide à très acide. Le kaolin est le principal minéral argileux, la gibbsite est présente en moindres quantités et on trouve occasionnellement aussi de la chlorite.

2.3.3 Gambie

Les sols du Nyambai Forest Park, où se trouvent la majorité des plantations, se sont formés à partir de l'alluvion du plateau continental soulevé. Dunsmore et al. (1976) estiment qu'ils sont très rarement limités en profondeur par un alios ferrugineux (cuirasse), à la différence des sols typiques du "terminal continental". On trouve quelquefois des couches pierreuses à l'intérieur de profils normaux et quelquefois des couches d'infiltration d'alios ferrugineux in situ, spécialement vers la jonction avec le colluvion. Ces sols entrent généralement dans la catégorie des fluvisols thioniques (FAO/Unesco, 1974).

2.3.4 Brésil (Jari Florestal)

Le domaine forestier de Jari s'étend pour l'essentiel entre Rio Jari et Paru et on y trouve en association une variété de sols qui ont toutefois des caractéristiques granulométriques très différentes. Cela explique le caractère varié des projets d'agroforesterie entrepris. A la lumière de l'expérience passée, les administrateurs du domaine ont, en règle, principalement consacré les sols de granulométrie grossière à moyenne à la culture du pin et les sols de granulométrie moyenne à assez fine à celle de Gmelina arborea, avec peut-être, dans l'avenir, des introductions de feuillus. Parmi les terrains de plantation bien drainés de ce domaine, figurent les limons très sableux à argilo-sableux de la partie sud, qui

proviennent probablement de sédiments tertiaires (arénosols ferraliques), et le podzol rouge-jaune, provenant probablement de schistes argileux dévoniens et ayant une granulométrie moyenne à fine, trouvé dans la partie nord. Ces derniers sols entrent en gros dans la catégorie des nitosols dystriques (FAO/Unesco, 1974), avec quelques acrisols plinthiques en association. Les autres types de sols de l'aire étudiée, quoique dans certains cas plus riches que ceux portant un couvert arboré, n'ont pas retenu spécialement l'attention parce qu'il n'en existe pas de grandes formations continues dans les zones plantées.

2.3.5 Suriname(Blakkawatra et Coesiwigne)

Les projets de reboisement sont limités à la partie septentrionale du pays, au sud de la capitale, où l'accessibilité est de loin meilleure. La topographie générale du Suriname se présente comme suit : zone de l'intérieur, zone d'alluvions continentales et plaines côtières (Slager et Saro, 1967). La zone d'alluvions continentales, également connue sous le nom de formation Zandery, s'étend au nord de la formation cristalline de l'intérieur d'une partie du bouclier guyanais ; elle consiste principalement en sédiments non consolidés, allant du sable à l'argile. Le matériel sableux recouvre la roche de l'intérieur sur des épaisseurs qui varient de quelques mètres au sud à 75 mètres dans le nord. On le trouve également à l'est et à l'ouest du fleuve Suriname, respectivement dans les zones de Blakkawatra et Coesewigne, et sur une plus vaste superficie dans la seconde. Cette zone est généralement de faible altitude (de 6 à 50 m du nord au sud), avec quelques marécages, mais les plantations de pins, qui sont la principale essence cultivée, sont installées sur les sites les mieux drainés appartenant selon le cas aux classes locales 2, 3 et 4 de qualité stationnelle. La transition des sols de type plus résiduaire de l'intérieur vers les sols plus sableux de la zone d'alluvions continentales est représentée schématiquement sur la figure 2.2. L'une des particularités des sols portant des forêts naturelles dans cette zone est la présence d'une couverture de matière organique d'une épaisseur variable qui diminue lorsqu'on passe de la futaie à la savane arborée. Là où il existe des pentes de plus de 4 pour cent, les sols sont généralement tronqués, ayant perdu une grande partie de leur couche superficielle organique pour se réduire à des profils décolorés et des profils sableux profonds portant seulement des touffes d'herbe et de petits buissons. D'après ce que l'on observe généralement sur le terrain, il semble que la croissance des pins sur les différents sols s'améliore dans l'ordre suivant : sable décoloré + faible quantité de M.O. 1/ ⟶ sables décolorés + plus forte quantité de M.O. ⟶ sable brun clair + quantité encore plus forte de M.O. ⟶ matériel éluvial + sable brun + quantité maximale de M.O. (voir figure 2.2). Les unités pédologiques correspondantes seraient probablement les arénosols albiques et ferraliques (FAO/Unesco, 1974) avec quelques acrisols plinthiques, en association.

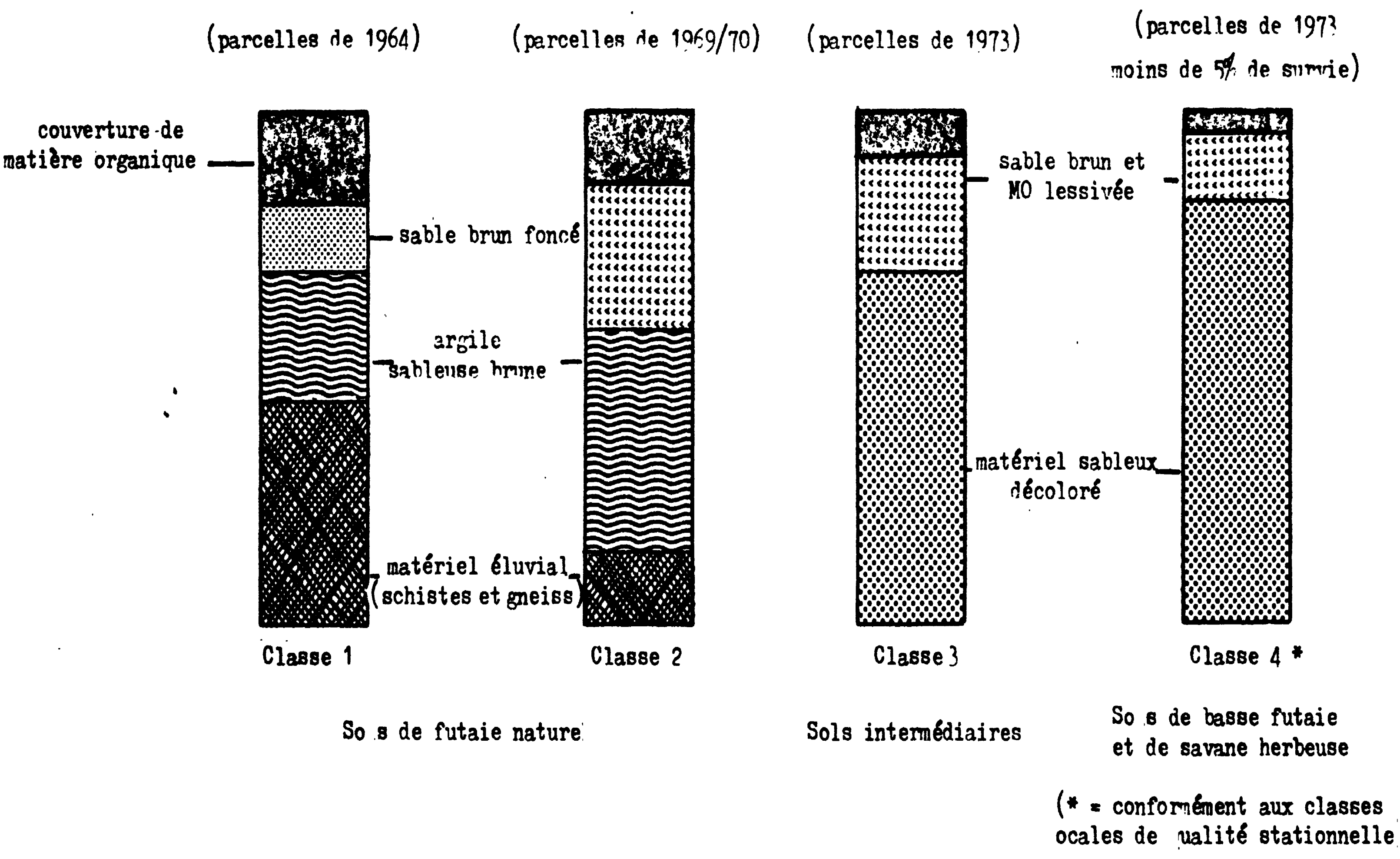
2.3.6 Belize

Les plantations de Gmelina arborea et de Pinus caribaea qui ont été visitées dans les réserves forestières du Stan Creek sont installées sur des sols résiduaires formés à partir de matériaux micacés, de gneiss granitiques, de quartzites et de grès. On trouve des types de terrains très divers, y compris des sols calciques, mais nous nous limiterons à examiner ici ceux qui portent des plantations des essences étudiées dans le présent rapport. Les sols formés à partir de quartzites et de grès sont relativement peu fertiles et ne portent qu'une maigre végétation naturelle. Dans la plupart des cas, ils sont assez squelettiques (lithosols). Ceux qui sont dérivés de schistes et de granites contiennent des réserves plus abondantes d'éléments nutritifs, sont plus profonds, plus rouges et généralement bien structurés, et portent un couvert forestier plus luxuriant et varié. Dans certains endroits, les sols squelettiques ont des pentes de 25-30° et ils restent souvent couverts par une forêt protégée. Les sols profonds sur granite occupent la zone de collines en pente douce et leurs caractéristiques générales permettraient de les grouper dans la catégorie des luvisols chromiques et ferriques.

1/ M.O. = Matière organique

Figure 2.2 TRANSITIONS PEDOLOGIQUES DANS LA ZONE D'ALLUVIONS CONTINENTALES AU SURINAME

(toutes parcelles cultivées en Pinus caribaea)



2.4 Foresterie de plantation dans les zones étudiées

La foresterie de plantation dans les zones tropicales visitées utilise un grand nombre d'essences. Citons, entre autres, Eucalyptus spp., Pinus spp., Gmelina arborea, le teck, Cedrela odorata, Terminalia ivorensis et Superba. Les superficies couvertes vont de quelques centaines à quelques milliers d'hectares.

2.4.1 Méthodes d'établissement

Dans l'ensemble, les méthodes d'installation des plantations sont analogues et consistent à transformer la forêt climax ou la forêt secondaire - après exploitation du bois marchand - en plantation d'une essence particulière. Les détails varient toutefois dans quelques cas. Les arbres ont été normalement abattus et on a laissé se dessécher sur place puis brûlé tout le matériel non commercialisable et le sous-bois. L'alignement en andains avant et après le brûlage n'est pas de pratique courante au Nigeria, au Brésil et en Sierra Leone, mais on y recourt au Suriname pour faciliter l'emploi de matériel de terrassement. Il a été démontré que le rassemblement en andains et autres opérations culturales utilisant des machines lourdes ont un effet nocif sur l'état du sol et devraient être découragés. On plante dès après le début des pluies afin que les jeunes peuplements bénéficient de l'apport abondant d'éléments nutritifs en cette saison. Exception faite du domaine de Jari Florestal où l'on emploie de la main-d'oeuvre salariée pour les opérations liées à l'établissement des plantations, un système de taungya est utilisé dans la plupart des plantations tropicales (spécialement celles d'essences feuillues), des agriculteurs étant autorisés à cultiver le même terrain en échange de soins aux jeunes arbres. Les cultures vivrières pratiquées de la sorte - par exemple manioc, maïs et autres plantes non volubiles - sont poursuivies jusqu'à la fermeture du couvert. Ensuite, les soins sylvicoles ne sont plus dispensés qu'une ou deux fois par an ou lorsqu'on le juge nécessaire. Dans les plantations de Gmelina arborea, l'espacement peut être variable selon les endroits, mais il est généralement de 3 m x 3 m et, pour les pins, de 2,4 m x 2,4 m. Des herbicides chimiques ont également été employés au Suriname. Ils peuvent avoir un effet nocif sur les populations de micro-organismes et leur activité - au point de retarder la biodégradation et de ralentir ainsi l'important processus de mobilisation des éléments nutritifs.

2.4.2 Données sur les monocultures pratiquées et les sols correspondants dans les zones de plantations visitées

Le tableau A.1 de la page 63 donne des renseignements sur les essences plantées et sur les surfaces et les types de sols occupés. La superficie totale des plantations considérées dépasse 170 000 hectares.

CHAPITRE 3

METHODES

3.1 Méthodologie générale

Comme il a déjà été dit, l'un des buts de la présente étude était de faire la comparaison entre les propriétés de sols portant des monocultures de Gmelina et de Pinus caribaea d'âges différents et celles de sols portant des peuplements indigènes situés juste à côté, sur le même matériel géologique/pédologique. Les quantités d'éléments nutritifs contenues dans les parties aériennes des arbres des plantations et dans la litière ont également été mesurées. On s'est efforcé ensuite d'établir une sorte de budget des éléments nutritifs, en vue de quantifier les pertes brutes et les pertes nettes résultant de l'exploitation forestière.

3.2 Echantillonnage des sols

3.2.1 Intensité de l'échantillonnage

Le nombre d'échantillons à prélever varie considérablement selon les propriétés du sol, la microtopographie, le type de sol, la végétation et le mode d'utilisation des terres. Lundgren (1977) a mesuré certaines propriétés du sol en 100 points uniformément distribués dans une forêt semper virens croissant sur limon argileux kaolinitique rouge (comme on en trouve dans la plupart des sols tropicaux) et il a conclu qu'à la limite de confiance de 95 pour cent, dans une placette de 2 500 m2, il suffit de prélever un minimum de 9 échantillons pour la détermination de la densité apparente, et de 5 pour celle du pH, et environ 34 échantillons pour l'analyse chimique. Sur cette base, il a été décidé pour le plan d'échantillonnage principal de prélever chaque fois 40 échantillons au hasard dans des placettes de 2 500 m2. Les échantillons extraits à la sonde pédologique ont été groupés pour l'analyse physique et chimique. Des échantillons destinés à l'analyse physique et chimique ont également été prélevés dans les horizons génétiques indiqués par les profils des sols. La densité apparente et la porosité ont été mesurées dans le cas des placettes brésiliennes (tableau A.10, page 80).

Pour le plan d'échantillonnage principal des sols, on a utilisé un minimum d'une paire de placettes pour chaque emplacement géographique, situées l'une dans une plantation et l'autre dans la forêt naturelle adjacente sur le même type de site. Dans chacune des zones nigérianes considérées - Ubiaja et Omo-Ajebandele - on a choisi trois placettes, à savoir une dans la forêt naturelle et les deux autres dans deux classes d'âge d'une plantation de Gmelina. A São Miguel, au Brésil, on a également choisi trois placettes, dont une dans la forêt naturelle et les deux autres dans des plantations de Gmelina et de P. caribaea du même âge. Dans toutes les placettes du plan d'échantillonnage principal des sols, on a creusé des fossés pédologiques et recueilli à la sonde des échantillons composés ; la végétation a également été échantillonnée.

Dans quelques zones de plantations, par exemple Omo-Ajebandele, on a pu trouver des peuplements dont les arbres se répartissaient dans toute une série de classes d'âge annuelles, ce qui a permis de procéder à un échantillonnage supplémentaire pour suivre l'évolution des propriétés du sol avec l'âge de la plantation. Une placette d'un quart d'hectare a été délimitée pour chacune des différentes classes d'âge représentées sur le même sol et quarante échantillons aléatoires y ont été prélevés à la sonde pédologique, à la profondeur de 0-10, 10-20, et 20-40 cm, et groupés en vue de l'analyse. Dans le cas de cet échantillonnage supplémentaire du sol, on n'a pas creusé de fossés pédologiques ni échantillonné la végétation.

Les propriétés physiques et chimiques des 40 cm superficiels revêtent un intérêt particulier, car cette couche est considérée comme la plus importante du point de vue du travail du sol et de la rétention d'eau, outre le fait que la plupart des racines absorbantes se trouvent dans cette zone. Un nombre plus important de placettes par classe d'âge aurait été statistiquement plus désirable, mais on ne disposait ni du temps, ni du matériel nécessaires.

3.2.2 Morphologie du sol

Au cours d'une reconnaissance, on a effectué des prélèvements à la sonde pédologique en vue de sélectionner des placettes représentatives dans les plantations et dans la forêt naturelle adjacente. On a également observé les variations des caractéristiques pédologiques avec la topographie. Suivant cette dernière, on a creusé dans chaque placette trois ou quatre fossés pédologiques. Les caractéristiques macroscopiques et la description complète des profils ont été consignées, et au moins un profil représentatif a été échantillonné dans chaque cas.

3.2.3 Méthodes d'analyse des sols

Les échantillons de terre ont été étalés à l'air pour y sécher, et, une fois complètement secs, ils ont été tamisés à travers un tamis à mailles de 2 mm. Les échantillons destinés à l'analyse des éléments nutritifs totaux et du carbone total ont ensuite subi un broyage leur permettant de passer à travers un tamis à mailles de 100 Rs, dans certains cas de 250 Rs, en prenant soin d'éviter une perte variable de poussière fine.

Au Brésil, où l'on disposait des moyens techniques nécessaires, les carottes de terre destinées à la détermination de la densité apparente,de la porosité et de la teneur en humidité et en air ont été prélevées dans les profils à peu près à mi-chemin entre les horizons A et B.

Les analyses physiques des sols des placettes brésiliennes ont porté sur les propriétés suivantes :

i) Distribution de la dimension particulaire, en utilisant la méthode à l'hydromètre de Bouyoucos, après élimination de la matière organique par oxydation avec de l'eau oxygénée et dispersion avec du Calgon à 5 pour cent.

ii) Distribution de l'espace occupé par les pores, en utilisant la technique de succion décrite dans Black (1965).

iii) La densité apparente a été déterminée en employant une carotte de terre séchée. On a obtenu par la même occasion la teneur en humidité. La méthode approchée de Jeffrey (1970), fondée sur une relation empirique entre la perte à l'ignition et la densité apparente a été appliquée lorsqu'on ne disposait pas de carottes de terre.

Pour les autes placettes, la détermination des propriétés physiques a été limitée à la mesure des fractions de sable, de limon et d'argile.

Les analyses chimiques ont porté sur :

i) Le pH d'une suspension de terre dans l'eau à 1:2,5, en utilisant une électrode de verre.

ii) La capacité d'échange de cations (méthode par sommation).

iii) Les cations extractibles (NH_4OAc pH 7,0): Ca, Mg, K (Na).

iv) P assimilable, par extraction avec la solution "BRAY I".

v) L'acidité totale (Al + H) par titrage avec NaOH 0,1 N, après extraction avec KCl 1N.

vi) L'azote total par microkjeldahl.

vii) La teneur en carbone organique par oxydation en solution (Walkey et Black, 1965).

3.3 Echantillonnage des végétaux

3.3.1 Les arbres

Il s'agissait de déterminer la teneur totale en éléments nutritifs des parties aériennes des arbres sur la base de la surface terrière. Sur tous les emplacements dont on a étudié le sol, on a échantillonné trois arbres dont un dominant, un autre relativement dominé et un autre représentant la hauteur moyenne approximative. Tout le feuillage a été soigneusement recueilli , pesé à l'état frais sur le terrain et sous-échantillonné aux fins du séchage et de l'analyse. La même méthode a été utilisée pour le bois de fût et le bois de branches. Les fûts ont été découpés en tronçons et pesés à l'état frais, et des disques-échantillons de 3,81 cm d'épaisseur ont été prélevés à 10, 30, 50, 70 et 90 pour cent de la longueur, leur diamètre allant de 30 cm au-dessus de la base à 4 cm au sommet. Les disques ont été dépouillés de leur écorce et on a calculé leur poids sec et leur teneur en humidité.

3.3.2 Autre végétation et litière

Les autres plantes et la litière ont été recueillies comme suit dans douze placettes d'échantillonnage distribuées au hasard dans la parcelle d'un quart d'hectare : les plantes ont été arrachées à la main et pesées ; la litière non décomposée, y compris de petites branches de moins de 5 cm de diamètre, a également été recueillie et pesée. Ce matériel a ensuite été séché et sous-échantillonné aux fins de l'analyse.

3.3.3 Méthodes d'analyse des tissus végétaux

Les sous-échantillons de feuillage prélevés ont été pesés, lavés et placés dans un four à soufflerie d'air chaud à 70 ° C jusqu'à ce que leur poids soit devenu constant. Les disques-échantillons de tige et les échantillons de branches, ainsi que les échantillons de litière, ont été traités de la même manière.

La teneur en éléments nutritifs des tissus végétaux a été déterminée par une méthode de digestion à l'état humide avec trois acides concentrés : nitrique, perchlorique et sulfurique. Le poids des éléments nutritifs contenus dans le peuplement a été obtenu en multipliant les concentrations de ces éléments par les poids estimatifs des diverses composantes.

3.4 Epoque de l'échantillonnage

Il était prévu de commencer l'échantillonnage à la fin des plus fortes pluies, époque où l'humidité du sol est assez constante et où la croissance des arbres semble se ralentir. Mais il s'est révélé difficile de se conformer à ce calendrier étant donné l'enchaînement des saisons dans les zones équatoriales et tropicales humides. Si l'échantillonnage a pu être effectué après la cessation des fortes pluies au Nigeria et dans d'autres pays de l'Afrique de l'Ouest, par contre, au Brésil, au Suriname et au Belize, il a eu lieu après le commencement des pluies.

3.5 Autres apports et prélèvements d'éléments nutritifs

Nye (1961) et Golley (1975) ont signalé d'importants apports supplémentaires d'éléments nutritifs provenant des précipitations dans les régions tropicales humides. Peu de renseignements à ce sujet ont pu être obtenus dans les stations visitées. Les données sur le taux annuel de désagrégation du matériel d'origine des sols, qui auraient pu être utilisées comme base de calcul de la mobilisation d'éléments minéraux résultant de la dégradation des roches, faisaient entièrement défaut. Fredriksen (1972) estime par ailleurs que les quantités exportées par les cours d'eau proviennent très probablement du délitement des minéraux. On ne disposait pas du temps nécessaire pour mesurer les pertes d'éléments nutritifs dues au lessivage et à l'érosion. On pourrait s'attendre à ce qu'elles soient substantielles dans les zones à pente abrupte et à maigre couverture végétale. Toutefois, la forêt aussi bien que les sous-étages sont normalement si denses dans la majorité de ces zones qu'il est possible que les pertes d'éléments nutritifs résultant de l'érosion et du lessivage ne soient pas très importantes.

CHAPITRE 4

RESULTATS

4.1 Teneur en éléments nutritifs des arbres et de la litière

4.1.1 Gmelina arborea

a) Production de biomasse

Le tableau 4.1 ci-dessous compare la production de biomasse (poids sec) au-dessus du sol pour les quatre plantations "P.1973" de *Gmelina arborea* (G.a) et la plantation "P.1973" de *Pinus caribaea* (P.c). Les chiffres sont tirés du tableau A.4 de la page 67 et l'accroissement moyen annuel (AMA) de la biomasse est également indiqué. On a inséré en outre les données concernant les deux plantations plus âgées de *Gmelina* au Nigeria, afin de montrer l'effet de la longueur de la révolution sur l'AMA de la production de biomasse. Les données d'origine sont présentées aux tableaux A.2 et A.3 (poids frais et teneur en humidité d'arbres individuels et de la biomasse moyenne) aux pages 65-66 et au tableau A.4 (poids sec et moyen de la biomasse) à la page 67.

Tableau 4.1

PRODUCTION DE BIOMASSE AU-DESSUS DU SOL (POIDS SEC)

Emplacement	Spp.	Type de sol	Production Total (tonnes/ha)	Production Bois de fût (tonnes/ha)	Bois de fût %	AMA (tonnes/ha/an) Total	AMA (tonnes/ha/an) Bois de fût
(a) Plantations P.1973							
Brésil							
Pacanari (âge 6 ans)	G.a.	Dystrique Nitosol	122,0	79,3	65	20,3	13,2
São Miguel (âge 6 ans)	G.a.	Ferralique Arénosol	55,9	43,2	77	9,3	7,2
São Miguel (âge 6 ans)	P.c.	Ferralique Arénosol	66,0	46,8	71	11,0	7,8
Nigeria							
Zone d'Ubiaja (âge 5,5 ans)	G.a.	Dystrique Nitosol	63,4	51,0	80	11,5	9,3
Omo-Ajebandele (âge 5,5 ans)	G.a.	Ferrique Luvisol	136,7	114,4	84	24,9	20,8
(b) Plantations plus âgées							
Zone d'Ubiaja P.64 (âge 14,5 ans)	G.a.	Dystrique Nitosol	105,6	76,4	72	7,3	5,3
Omo-Ajebandele P.66 (âge 12,5 ans)	G.a.	Ferrique Luvisol	170,5	145,4	85	13,6	11,6

Il est clair qu'au Brésil comme au Nigeria, la biomasse de Gmelina produite diffère beaucoup selon les types de sol. Les sites P.1973 de Pacanari et Omo-Ajebandele ont produit chacun deux fois plus de biomasse que les sols plus pauvres de São Miguel et Ubiaja.

La comparaison entre les parcelles portant des plantations plus âgées (P.1964 et 1966) et les parcelles P.1973 au Nigeria suggère que l'AMA de biomasse diminue considérablement avec l'âge. Quoique le matériel sur pied soit comparable dans toutes les parcelles, l'AMA sur les plus anciennes est à peine un peu plus de la moitié de l'AMA sur les plus récentes, à Omo-Ajebandele comme à Ubiaja.

Dans les parcelles plantées en Gmelina, la part du bois de fût dans le poids sec de la biomasse au-dessus du sol va de 65 pour cent (P.1973, Pacanari) à 85 pour cent (P.1966, Omo-Ajebandele).

b) Teneur en éléments nutritifs

Les teneurs en éléments nutritifs de Gmelina arborea (en pourcentage du poids sec) dans quatre parcelles nigérianes et deux parcelles brésiliennes sont récapitulées au tableau A.5 de la page 68. Le tableau 4.2 ci-dessous donne les chiffres moyens pour l'ensemble des parcelles.

Tableau 4.2

GMELINA ARBOREA, MOYENNE DE 6 PARCELLES

(d'après le tableau A.5)

	Teneur en éléments nutritifs (% du poids sec), par éléments					
	N	P	K	Ca	Mg	Total
Feuillage	2,07	0,23	1,16	0,57	0,43	4,46
Bois de fût	0,16	0,02	0,37	0,17	0,03	0,75
Rapport feuillage/bois de fût	13:1	11,5:1	3,1:1	3,4:1	14:1	6:1
Bois de branche	0,27	0,04	0,43	0,21	0,15	1,10
Ecorce	0,55	0,06	0,59	0,69	0,22	2,11

Le pourcentage du poids sec représenté par chacun des cinq éléments principaux décroît dans l'ordre suivant : feuilles, écorce, bois de branche et bois de fût. Cet ordre se retrouve assez uniformément pour la plupart des éléments et dans la plupart des parcelles, à ceci près que le pourcentage de Ca dans l'écorce est aussi élevé ou plus élevé que dans le feuillage. Le rapport Feuillage/bois de fût se situe entre 10:1 et 15:1 pour N, P et Mg, mais il est de seulement 3:1 pour K et Ca.

Dans le feuillage, N est toujours l'élément nutritif le plus abondant et P le moins abondant (à peu près un dixième de la teneur en N). Les teneurs en K, Ca et Mg sont intermédiaires - par ordre décroissant, avec toutefois des variations possibles selon les parcelles. K est toujours l'élément nutritif le plus abondant dans le bois de fût, suivi de Ca ou N, et Mg et P y sont toujours les éléments les moins abondants (moins de un dixième de la teneur en K).

Le tableau 4.3 montre la teneur en éléments nutritifs de l'arbre entier (% du poids sec) après pondération du contenu des différentes parties de l'arbre par la biomasse appropriée. On peut constater que sur les sols nigérians et brésiliens les plus fertiles - Omo-Ajebandele et Pacanari -, la teneur en éléments nutritifs est plus forte que sur les sols moins fertiles d'Ubiaja et de São Miguel. Cette tendance (teneur égale ou supérieure sur les sols plus fertiles) vaut pour les cinq éléments, à l'exception de Mg qui est uniformément plus abondant sur les sols moins fertiles.

La teneur en éléments nutritifs est moindre sur les parcelles plus anciennes d'Ubiaja et d'Omo-Ajebandele que sur les parcelles plus jeunes correspondantes. La seule exception est Ca qui est plus abondant dans les plantations plus âgées que dans les autres. Toutefois, le tableau A.5 de la page 68 permet de constater que la tendance à une réduction de la teneur en éléments nutritifs dans les parcelles plus âgées n'est pas uniforme pour chacune des parties constituantes de l'arbre situées au-dessus du sol.

Tableau 4.3

TENEUR EN ELEMENTS NUTRITIFS (% DU POIDS SEC)

	Spp.	Age	N	P	Arbre entier 1/ K	Ca	Mg	Total
Nigeria								
Zone d'Ubiaja	G.a	5-6	0,25	0,02	0,53	0,10	0,15	1,05
Zone d'Ubiaja	G.a	14-15	0,19	0,02	0,20	0,19	0,08	0,68
Omo-Ajebandele	G.a	5-6	0,30	0,04	0,76	0,40	0,04	1,54
Omo-Ajebandele	G.a	12-13	0,22	0,02	0,59	0,45	0,03	1,31
Brésil								
Pacanari	G.a	5-6	0,29	0,05	0,17	0,15	0,06	0,72
São Miguel	G.a	5-6	0,23	0,04	0,17	0,08	0,07	0,59
São Miguel	P.c	5-6	0,30	0,05	0,07	0,12	0,04	0,58

1/ Contenu des différentes parties pondéré en fonction de la biomasse

c) Quantités d'éléments nutritifs exportés lors de la récolte

Pour calculer les quantités d'éléments nutritifs (kg/ha) contenues dans les arbres et dans leurs parties constituantes, on a multiplié les pourcentages du poids sec revenant à chacun des éléments nutritifs par les poids secs des parties correspondantes de l'arbre (bois de fût, bois de branche, etc). Les chiffres obtenus sont reproduits au tableau A.7 de la page 71, pour une série de parcelles couvrant les différentes classes d'âges et types de sols. Les mêmes données sont présentées sous forme de diagrammes aux figures A.18-A.23 de l'annexe 4.

Il semble que le potassium et l'azote soient les deux éléments nutritifs toujours prélevés en quantités importantes par Gmelina arborea et que Ca soit aussi absorbé en quantités substantielles dans trois des quatre parcelles nigérianes. Le tableau 4.4 présente sous une forme condensée les données du tableau A.7, en indiquant en outre l'absorption annuelle moyenne d'éléments nutritifs. On peut constater que les éléments contenus dans le bois de fût plus écorce, qui sont ceux normalement exportés au moment de la récolte, représentent dans de nombreux cas plus des deux tiers du total. Dans le cas extrême de K dans la plus jeune des parcelles d'Omo-Ajebandele, l'absorption annuelle moyenne dépasse 180 kg/ha, les neuf dixièmes des quantités absorbées se retrouvant dans le bois de fût et l'écorce. Toutefois, il semble que la teneur en K (kg/ha) n'augmente pas, mais diminue plutôt légèrement après l'âge de 6 ans, époque où la teneur en calcium commence quant à elle à s'accroître. Cette tendance est particulièrement marquée dans le sol sableux grossier contenant peu de K, où la teneur en calcium a dépassé la teneur en potassium lorsque les arbres ont atteint l'âge de 15 ans. On n'a pas observé de variation notable des quantités de Mg et de P immobilisées par les arbres en fonction de l'âge.

Tableau 4.4

ABSORPTION D'ELEMENTS NUTRITIFS (kg/ha)

	N	P	K	Ca	Mg	Total
Gmelina, âge 5,5 ans, zone d'Ubiaja						
Quantité contenue dans la biomasse au-dessus du sol	158	12	336	66	92	664
Absorption annuelle moyenne dans la biomasse au-dessus du sol	28,7	2,2	61,1	12	16,7	120,7
Quantité contenue dans le bois de fût et l'écorce	96	7	275	52	42	472
Absorption annuelle moyenne dans le bois de fût et l'écorce	17,5	1,3	50	9,5	7,6	85,8
Gmelina, âge 14,5 ans, zone d'Ubiaja						
Quantité contenue dans la biomasse au-dessus du sol	205	21	208	204	85	723
Absorption annuelle moyenne dans la biomasse au-dessus du sol	14,1	1,45	14,3	14,1	5,9	49,9
Quantité contenue dans le bois de fût et l'écorce	138	11	169	155	52	525
Absorption annuelle moyenne dans le bois de fût et l'écorce	9,5	0,76	11,7	10,7	3,6	36,2
Gmelina, âge 5,5 ans, Omo-Ajebandele						
Quantité contenue dans la biomasse au-dessus du sol	408	49	1 039	553	51	2 100
Absorption annuelle moyenne dans la biomasse au-dessus du sol	74,2	8,9	188,9	100,5	9,3	381,8
Quantité contenue dans le bois de fût et l'écorce	314	39	915	497	37	1 802
Absorption annuelle moyenne dans le bois de fût et l'écorce	57,1	7,1	166,4	90,4	6,7	327,6
Gmelina, âge 12,5 ans, Omo-Ajebandele						
Quantité contenue dans la biomasse au-dessus du sol	374	31	1 006	774	43	2 228
Absorption annuelle moyenne dans la biomasse au-dessus du sol	29,9	2,5	80,5	61,9	3,4	178,2
Quantité contenue dans le bois de fût et l'écorce	278	19	844	711	27	1 879
Absorption annuelle moyenne dans le bois de fût et l'écorce	22,2	1,5	67,5	56,9	2,2	150,3
Gmelina, âge 6 ans, Pacanari						
Quantité contenue dans la biomasse au-dessus du sol	352	63	208	185	79	887
Absorption annuelle moyenne dans la biomasse au-dessus du sol	58,7	10,5	34,7	30,8	13,2	147,8
Quantité contenue dans le bois de fût et l'écorce	182	38	136	108	51	515
Absorption annuelle moyenne dans le bois de fût et l'écorce	30,3	6,3	22,7	18	8,5	85,8
Gmelina, âge 6 ans, São Miguel						
Quantité contenue dans la biomasse au-dessus du sol	128	22	93	42	39	324
Absorption annuelle moyenne dans la biomasse au-dessus du sol	21,3	3,7	15,5	7	6,5	54
Quantité contenue dans le bois de fût et l'écorce	90	14	71	34	31	240
Absorption annuelle moyenne dans le bois de fût et l'écorce	15	2,3	11,8	5,7	5,2	40
P. caribaea, âge 6 ans, São Miguel						
Quantité contenue dans la biomasse au-dessus du sol	197	33	46	78	25	379
Absorption annuelle moyenne dans la biomasse au-dessus du sol	32,9	5,5	7,7	13	4,2	63,2
Quantité contenue dans le bois de fût et l'écorce	99	21	31	25	17	193
Absorption annuelle moyenne dans le bois de fût et l'écorce	16,5	3,5	5,2	4,2	2,8	32,2
Données comparatives pour la Tanzanie (Lundgren, 1978)						
P. patula, âge 30 ans, à Shume						
Absorption annuelle moyenne dans la biomasse au-dessus du sol	81	8	43	46	15	193
P. patula, âge 30 ans, à Shume						
Absorption annuelle moyenne dans le bois de fût et l'écorce	40	4	23	25	9	101

d) La litière dans les plantations des Gmelina

Le tableau A.4 (p. 67) indique le poids sec de la litière (y compris le tapis végétal) à l'hectare et le tableau A.5 (p. 68) les pourcentages d'éléments nutritifs dans les différentes plantations. Le tableau 4.5 montre la quantité d'éléments nutritifs en kg/ha. On peut constater des différences considérables dans le poids sec de la litière, qui est faible dans les quatre parcelles nigérianes et élevé dans les deux parcelles brésiliennes. Les extrêmes sont: 0,7 tonne/ha dans la parcelle d'Ubiaja âgée de 5-6 ans, où ce chiffre ne représente que le tiers du poids du feuillage ; et 22,7 tonnes/ha dans la parcelle de São Miguel âgée de 5 ans, où ce chiffre représente 20 fois le poids du feuillage. L'ampleur de la différence suggère des effets variables du brûlage au moment du défrichage en vue de l'établissement de la plantation et peut-être aussi après le plantage. Dans la plupart des cas, la teneur en éléments nutritifs de la litière est moindre que celle du feuillage, avec l'exception évidente du manganèse dans toutes les parcelles. La comparaison entre les données des tableaux 4.4 et 4.5 montre que les quantités d'éléments nutritifs (kg/ha) contenues dans la litière sont inférieures à l'absorption annuelle moyenne dans les parcelles nigérianes, mais plusieurs fois supérieures à celle-ci dans les parcelles brésiliennes.

Exception faite de la teneur en manganèse exceptionnellement élevée de la litière de la forêt naturelle nigériane, spécialement à Omo-Ajebandele, les quantités d'éléments nutritifs contenues dans la litière des plantations de Gmelina et dans les forêts naturelles adjacentes étaient comparables. Par contre, la teneur en Ca et Mg de la litière avait tendance à être plus élevée dans les plantations de Gmelina que dans la forêt naturelle sur les deux stations brésiliennes, et la teneur en N et en K avait tendance à être plus élevée dans la forêt naturelle à Ubiaja.

Tableau 4.5

QUANTITE D'ELEMENTS NUTRITIFS CONTENUE DANS LA LITIERE (kg/ha)

(chiffres tirés des tableaux A.4 et A.5, p. 67 et 68)

	Age	N	P	K	Ca	Mg	Total	Biomasse (tonnes/ha)
Gmelina								
Ubiaja	5,5	6,23	0,77	3,85	1,47	1,75	14,1	0,7
Ubiaja	12,5	6,72	0,96	2,72	5,2	4,8	20,4	0,8
Omo-Ajebandele	5,5	30	2,1	36	8	8	84	1,9
Omo-Ajebandelle	12,5	44	1,9	31	8	7	92	1,7
Pacanari	6	137,7	41,9	16,2	117,5	29,7	343	13,5
São Miguel	6	204,3	22,7	25	161,2	77,2	490,4	22,7
P. caribaea								
São Miguel	6	226,5	12,9	12,9	174,7	84,1	511,1	64,7

4.1.2 Pinus caribaea

a) Production de biomasse

Il n'a pas été possible d'échantillonner des pins âgés de plus de cinq ans dans les plantations brésiliennes. Au Suriname, des difficultés rencontrées avec les instruments ont empêché de mesurer sur le terrain le poids des pins d'âges différents qui ont été échantillonnés. On ne possède donc d'informations sur la production de biomasse chez Pinus caribaea que pour une parcelle, celle de São Miguel au Brésil. Les données d'origine

sont reproduites aux tableaux A.2, A,3 et A.4 (p. 65 à 67) et le tableau 4.1 de la p. 22 en donne un résumé. L'accroissement moyen annuel est supérieur de presque 20 pour cent à celui enregistré dans la parcelle de Gmelina du même âge, sur le même type de sol, mais cela peut s'expliquer par le fait que le matériel sur pied est beaucoup plus important (près de 50 pour cent) dans le cas des pins. La distribution de la biomasse entre les différentes parties constituantes de l'arbre est la même, à ceci près que le feuillage constitue 11 pour cent de la biomasse au-dessus du sol chez le pin, mais seulement 2 pour cent chez Gmelina. A comparer avec 9 pour cent pour Pinus patula âgé de 10 ans en Tanzanie (Lundgren, 1978). Les pourcentages plus élevés observés pour les pins peuvent être attribués au fait qu'ils sont semper virens, tandis que Gmelina a un feuillage caduc.

b) Teneur en éléments nutritifs

Les concentrations d'éléments nutritifs (en pourcentage du poids sec) trouvés chez Pinus caribaea dans la parcelle de São Miguel, au Brésil, et dans trois parcelles d'âges différents à Blakkawatra, au Suriname, sont récapitulées au tableau A.6 de la page 70. Le tableau 4.6 ci-dessous donne les chiffres moyens pour l'ensemble des parcelles.

Tableau 4.6

PINUS CARIBAEA, MOYENNE DE 4 PARCELLES

(d'après le tableau A.6)

	Teneur en éléments nutritifs (% du poids sec)					
	N	P	K	Ca	Mg	Total
Feuillage	1,06	0,08	0,34	0,65	0,15	2,28
Bois de fût	0,18	0,02	0,10	0,12	0,04	0,46
Rapport feuillage/bois de fût	6:1	4:1	3,4:1	5,4:1	3,7:1	5:1
Bois de branche	0,25	0,02	0,09	0,18	0,05	0,59
Ecorce	0,19	0,01	0,07	0,10	0,04	0,41

Dans presque toutes les parties constituantes de l'arbre, la teneur en éléments nutritifs est moindre (la moitié ou moins) chez le pin que chez Gmelina ; il n'y a que dans le bois de fût qu'elle est égale ou supérieure. Cette observation vaut aussi bien lorsqu'on compare les moyennes de toutes les parcelles que lorsque l'on compare les plantations des deux essences établies sur le même site, à São Miguel. Dans ce second cas, toutefois, la prédominance de biomasse de bois de fût a pour résultat que la teneur moyenne en éléments nutritifs dans l'arbre entier est presque la même chez le pin que chez Gmelina (voir tableau 4.3, page 24).

De même que chez Gmelina, c'est le feuillage qui contient la plus forte proportion d'éléments nutritifs. Mais, par ailleurs, il n'existe pas chez Pinus de différences importantes entre le bois de fût, l'écorce et le bois de branche. La comparaison entre les deux parcelles du même âge, plantées sur le même site à São Miguel, montre que le rapport entre la teneur en éléments nutritifs du feuillage et celle du bois de fût (N, P, K, Ca, Mg) est de 13:1 chez Gmelina, mais seulement 6:1 chez P. caribaea.

Exception faite du bois de fût dans une parcelle, N est l'élément le plus abondant dans toutes les parties constituantes de l'arbre, dans toutes les parcelles. Dans la plupart des cas, il est suivi par Ca, K, Mg et P, dans cet ordre, celui-ci pouvant toutefois varier quelque peu d'une parcelle à l'autre. En contraste avec Gmelina, la teneur en Ca est généralement plus élevée que la teneur en K.

Les seules tendances uniformément associées au vieillissement dans les parcelles de Blakkawatra sont l'accroissement de la teneur en Ca et en Mg et la diminution de la teneur en K du feuillage, et l'augmentation de la teneur en K et en Ca du bois de fût.

c) Quantités d'éléments nutritifs exportées lors de la récolte

Les quantités d'éléments nutritifs (kg/ha) contenues dans la parcelle de São Miguel sont présentées au tableau A.7 de la page 71 et, sous forme de diagrammes, à la figure A.24 de l'annexe 4. Le tableau 4.4 de la p.25 indique l'absorption annuelle moyenne d'éléments nutritifs. Il ressort des données, d'une part que les pins ont absorbé légèrement plus d'éléments nutritifs que les Gmelina d'une parcelle du même âge sur le même type de sol, et de l'autre, que 50 pour cent seulement de la quantité absorbée étaient contenus dans le bois de fût, y compris l'écorce, contre 75 pour cent dans Gmelina. Contrairement à Gmelina, les pins ont absorbé davantage de Ca que de K.

d) La litière dans les plantations de Pinus caribaea

Le tableau A.4 (p. 67) indique le poids sec de la litière dans la parcelle de São Miguel, le tableau A.6 (p. 70) les pourcentages d'éléments fertilisants qui y sont contenus et le tableau 4.5 (p. 26) la quantité d'éléments nutritifs en kg/ha. Le poids sec de la litière était de 64,7 tonnes/ha, soit presque le triple du chiffre correspondant pour la parcelle de Gmelina du même âge à São Miguel, qui avait elle-même la litière la plus légère de toutes les parcelles de Gmelina. Le poids de la litière de pin représentait neuf fois celui du feuillage. Même en faisant la part des effets variables des éventuels résidus de litière de la récolte qui a précédé l'établissement des plantations, les chiffres suggèrent que la litière de pin se décompose à un rythme beaucoup plus lent que celle de Gmelina.

Les concentrations de N, P et K dans la litière de pin étaient toutes inférieures au tiers de celles contenues dans le feuillage, mais les concentrations de Ca et Mg étaient supérieures. Pour les cinq éléments nutritifs, ces concentrations étaient à peu près le tiers de celles observées dans la litière de Gmelina, si bien qu'en définitive la quantité en kg/ha dans l'une et l'autre parcelle était tout à fait comparable (tableau 4.5, p.26). De même que dans la parcelle de Gmelina de São Miguel, le poids des éléments nutritifs présents dans la litière est plusieurs fois supérieur à l'absorption annuelle moyenne du peuplement (tableau 4.4, p. 25).

4.2 Caractéristiques physiques et chimiques des sols

Les tableaux A.8 à A.10 (p. 73 à 80) présentent les résultats des analyses physiques. La nature physique des sols est très variable. Les sols nigérians de la zone d'Ubiaja vont surtout du sable limoneux à l'argile sableuse, la fraction sableuse allant de 80 à 90 pour cent dans les 40 cm superficiels, et la fraction argileuse ne dépassant guère 10 pour cent. Le sol dérivé du socle cristallin de l'axe Omo-Ajebandele (Nigeria) est beaucoup plus lourd, contenant en moyenne jusqu'à 20 pour cent d'argile dans les 40 cm superficiels. Des variations analogues sont observables dans les zones brésiliennes étudiées. Dans la zone de São Miguel, la texture est principalement sableuse, tandis que dans celle de Pacanari, le sol contient beaucoup plus de limon et d'argile et il est beaucoup plus lourd.

Les résultats des analyses chimiques des sols sont présentés aux tableaux A.11 et A.12 (p. 81 à 84). En admettant que l'extraction à l'acétate d'ammonium donne une bonne mesure de la fertilité, on peut classer comme suit les sols plantés de Gmelina dans les zones visitées, par ordre décroissant de fertilité : luvisols ferriques ≫ nitosols eutriques ≫ nitosols dystriques ≫ arénosols ferraliques (albiques). La teneur en P assimilable était généralement faible dans la forêt naturelle sur tous les sites étudiés, inférieure à 10 $\mu g/g$ dans tous les cas. Les pourcentages d'azote total étaient le plus souvent moyens à élevés (0,12 à 0,38 pour cent) dans la couche superficielle du sol de la forêt naturelle.

4.3 Variations des caractéristiques des profils

Les observations ci-après ont été faites sur les caractéristiques macroscopiques des profils observés dans des fossés pédologiques creusés dans la forêt naturelle et dans les plantations.

4.3.1 Couleur

Pour les sols de granulométrie moyenne à assez fine des zones d'Omo-Ajebandele (Nigeria) et de Pacanari (Brésil), la couleur de la couche superficielle était plus claire dans les plantations de Gmelina que dans la forêt naturelle (voir figures A.2 et A.3, p. 87 à 88) L'inverse se vérifiait dans les sols de granulométrie grossière à moyenne des zones d'Ubiaja (Nigeria) et de São Miguel (Brésil) dont la couche superficielle était nettement plus foncée (figures A.1 et A.4, p. 86 et 89). Des différences de couleur ont été observées entre tous les profils. Les 20 cm superficiels du profil portant des plantations de pins dans la zone de São Miguel avaient une tonalité ("value") et une intensité de coloration ("chroma") différentes de celles observées dans les plantations de Gmelina arborea et dans la forêt naturelle, étant plus pâles que l'un et l'autre.

4.3.2 Tendances texturales

Les profils de la fraction sableuse (50-2 000 μ) sont présentés aux tableaux A.8 et A.9 (p. 73 à 79) et aux figures A.5 et A.6 (p. 90 à 91). Dans tous les cas, l'essentiel de la variation associée à la profondeur se situe dans les 25 cm superficiels. C'est pour Pinus caribaea à São Miguel (Brésil) que l'on observe la plus grande différence entre les plantations et la forêt naturelle. Le large écart entre les graphiques représentant le profil sous Pinus caribaea (figure A.6, p. 91) et les profils sous forêt naturelle et sous Gmelina arborea confirme l'influence considérable des couvertures de pins sur les propriétés physiques de ces sols marginaux (augmentation du pourcentage de sable, diminution du pourcentage de limon et d'argile). Toutefois, les modifications effectives ont des chances d'être plus marquées dans les sols à texture grossière que dans ceux à granulométrie plus fine, spécialement en profondeur.

4.3.3 pH du sol

Dans les plantations nigérianes de Gmelina, les plus jeunes classes d'âge déterminent une augmentation notable du pH du sol dans les couches superficielles par rapport à la forêt naturelle (tableau A.11, p. 81). Cet effet se manifeste sur les 20 cm superficiels dans les sols de granulométrie moyenne à fine d'Omo-Ajebandele, et sur les 60 cm superficiels dans les sols plus légers d'Ubiaja. Dans les plantations plus anciennes, âgées de plus de 10 ans, il y a tendance au retour à la situation originelle, le pH se situant à mi-chemin entre celui de la forêt naturelle et celui des plus jeunes classes d'âge. La figure A.7 (p. 92) en donne une illustration pour six profils.

Au Suriname, il n'y a guère de signes d'une modification notable du pH sous les plantations de pins ; le pH initial de la forêt naturelle est assez peu élevé : 4,4 (tableau A.12, p. 84).

4.3.4 Distribution du phosphore assimilable dans le profil

Au Nigeria, la distribution du phosphore dans le profil du sol varie de façon plus marquée dans les couches superficielles, entre 10 et 50 cm. Les sols à granulométrie grossière d'Ubiaja contiennent apparemment davantage de P en profondeur (4 μg/g) lorsqu'ils portent des jeunes plantations que lorsqu'ils portent des plantations plus âgées et, dans ces dernières, la concentration est plus forte que dans la forêt naturelle. Dans les sols de granulométrie moyenne à fine à Omo-Ajebandele, la situation s'inverse et les plantations âgées contiennent plus de P en profondeur que la forêt naturelle ou les jeunes plantations. En général, la teneur en P des sols légers est très supérieure à celle des sols résiduels à granulométrie plus fine (voir tableau A.11, p. 81 et figure A.8, p. 93).

4.3.5 Total des cations extractibles par NH_4OAc

Au Nigeria, les teneurs en cations extractibles par NH_4OHc dans les horizons supérieurs du sol sont généralement plus élevées dans les plantations que dans la forêt naturelle, et cela jusqu'à la profondeur de 35 cm dans les sols à granulométrie grossière, mais de 15 cm seulement dans les sols ayant une granulométrie moyenne à fine. Au-dessus de ces profondeurs et dans les deux cas, les plus fortes concentrations de cations extractibles sont observées dans les plus jeunes plantations, mais, au-dessous, il n'y a guère de différence entre la forêt naturelle et les plantations (tableau A.11, p. 81, figure A.9, p. 94).

4.3.6 Carbone organique et pourcentages d'azote

Au Nigeria, les différences les plus marquées en ce qui concerne la teneur en carbone organique et les pourcentages de N ont été observés dans les couches supérieures du sol, jusqu'à la profondeur de 50 cm dans les sols de granulométrie moyenne à assez fine, et jusqu'à celle de 20 cm dans les sols plus légers (tableau A.11, p. 81 et figures A.10 et A.11, pages 95 et 96).

4.4. Evolution de la fertilité du sol dans les plantations nigérianes de Gmelina

Les tableaux A.8 et A.11 (p. 73 et 81) présentent les résultats obtenus avec des échantillons composés prélevés dans des plantations de *Gmelina* âgées de 1 à 13 ans, établies sur des sols résiduels de granulométrie moyenne à Omo-Ajebandele. L'évolution de la fertilité est également représentée graphiquement aux figures A.12 à A.16.

4.4.1 pH du sol

Le pH du sol a augmenté pendant les cinq premières années suivant le boisement, cette évolution n'étant toutefois pas uniforme et l'essentiel de l'accroissement étant observé pendant la première année. Le pH a commencé de diminuer à nouveau à partir de la sixième année, pour retrouver presque la valeur qu'il avait dans la forêt naturelle à la treizième année de la croissance de *Gmelina*, à la profondeur de 20-40 cm. Dans la couche superficielle du sol de la plantation toutefois, le pH s'est stabilisé à environ 1,5 unité de plus que dans la couche superficielle de la forêt naturelle du même âge (figure A.12, p. 97).

4.4.2 Total des cations extractibles par NH_4OAc

Une énorme augmentation a été observée pendant la première année jusqu'à 40 cm de profondeur et pendant la cinquième année à 0-10 cm de profondeur, avec ensuite une stabilisation pendant la sixième année, le total des cations extractibles conservant toutefois en général une valeur supérieure à celle observée dans la forêt naturelle à des profondeurs correspondantes (figure A.13, p. 98).

4.4.3 Phosphore assimilable

La tendance est analogue à celle observée pour les cations extractibles par NH_4OAc, à ceci près qu'à la treizième année il n'y a pas seulement retour à la situation de la forêt naturelle, mais les valeurs ont même tendance à être plus faibles à des profondeurs correspondantes du sol (figure A.14, p. 99).

4.4.4 Carbone organique et pourcentages d'azote

A Omo-Ajebandele, on observe une tendance analogue pour ces deux propriétés du sol. Après une forte réduction initiale aux trois profondeurs observées, il y a eu une récupération partielle entre les âges de 3 et 6 ans, suivie à nouveau d'une diminution dans les couches superficielles. Dans une plantation âgée de 13 ans, la teneur en carbone organique et les

pourcentages de l'azote total étaient devenus sensiblement moindres aux profondeurs de 0-10 cm et 10-20 cm, mais légèrement plus élevés à la profondeur de 20-40 cm, en comparaison avec les échantillons correspondants prélevés dans la forêt naturelle (figures A.15 et A.16, p. 100 et 101).

Quoique deux classes d'âge seulement soient représentées à Ubiaja (tableau A.11, p. 81), les données suggèrent que, sur ces sols plus légers, la teneur en carbone organique dans les 10 cm superficiels diminue tout d'abord pour remonter ensuite approximativement au même niveau que dans la forêt naturelle à l'âge de 15 ans.

4.5 Tendance physique dans les sols brésiliens

Quoique peu d'observations aient été faites pour d'autres caractéristiques physiques, les données présentées au tableau A.10 (p. 80) pour les échantillons composés de sols brésiliens indiquent que les sols à granulométrie assez fine plantés de Gmelina arborea dans la zone de Pacanari ont une densité apparente et une teneur en humidité plus élevées et une moindre porosité et un moindre contenu d'air que les sols de la forêt naturelle. L'inverse semble se vérifier dans les sols à granulométrie grossière de la zone de São Miguel plantés de Gmelina arborea. Sous les pins, dans cette même zone, la densité apparente est plus élevée que dans la forêt naturelle, et la porosité est moindre dans l'horizon A, mais la situation est inverse dans l'horizon B. La teneur en humidité est moindre et le pourcentage d'air est plus élevé dans les deux horizons.

4.6 Tendances chimiques observées dans les sols plantés de pins au Suriname

Au Suriname, où le pH initial de la forêt naturelle est assez bas, à savoir 4,4 (tableau A.12, p. 84), on n'observe guère de tendance significative du pH ni de la teneur en la plupart des éléments nutritifs dans les plantations de pins, que l'on descende le long du profil ou que l'on suive l'évolution dans le temps. Toutefois, la teneur en carbone organique, l'azote total et, dans une moindre mesure, la teneur en phosphore des couches superficielles de la plantation de 1972 sont très inférieures à celles observées dans les forêts naturelles ; mais les concentrations semblent augmenter à nouveau à mesure que la plantation vieillit et que la litière s'accumule avec probablement augmentation de la minéralisation.

4.7 Représentation schématique des budgets des éléments fertilisants

Les figures A.18-A.24 de l'annexe 4 présentent sous forme de diagrammes les teneurs en éléments nutritifs des arbres, de la litière et du sol minéral sur les deux sites du Nigeria et les deux du Brésil.

CHAPITRE 5

DISCUSSION

Les influences exercées sur le sol par les monocultures d'essences à croissance rapide sont infiniment plus complexes qu'une simple adjonction et soustraction d'éléments nutritifs par les arbres. Néanmoins, une part notable de l'effet total de ces plantations s'explique par l'exportation du sol d'éléments nutritifs essentiels prélevés par la biomasse. Les quantités d'éléments nutritifs immobilisées dans les arbres doivent être considérées en fonction des réserves contenues dans le sol, et les modifications apportées à celui-ci par la croissance de ces arbres sont à examiner du point de vue de la production soutenue des révolutions futures.

A noter que la présente étude n'apporte aucune preuve que les monocultures en soi déterminent un épuisement plus rapide des réserves d'éléments nutritifs contenues dans le sol que ne le feraient des mélanges d'espèces pour lesquels le taux de production de biomasse, la durée de la révolution et la quantité de produits forestier prélevée seraient les mêmes. Il est évident qu'un épuisement rapide des éléments nutritifs est associé à une croissance rapide, à des révolutions de courte durée et à une exploitation par peuplements entiers (à plus forte raison par arbres entiers), mais des études complémentaires s'imposent pour démontrer si, toutes autres choses étant égales, un peuplement monospécifique immobilise plus rapidement les éléments nutritifs qu'un peuplement mélangé.

5.1 Quantités d'éléments nutritifs contenues dans les arbres et rapports sol/âge

Les données relatives aux quantités d'éléments nutritifs (kg/ha) immobilisées dans des peuplements de Gmelina arborea et de Pinus caribaea qui sont présentées au tableau A.7 (p. 71) montrent clairement l'ampleur des variations avec le type de sol et l'âge du peuplement. Les différences observées à l'intérieur d'une même classe d'âge, tant au Nigeria qu'au Brésil, reflètent les différences entre les sols, les quantités d'éléments nutritifs immobilisées étant d'autant plus importantes que le terrain est meilleur et que la croissance est plus rapide.

La quantité d'éléments nutritifs immobilisée dans les arbres âgés de 13 à 15 ans n'est que d'environ 6 pour cent (dans la zone d'Omo-Ajebandele) et 9 pour cent(dans la zone d'Ubiaja) de plus que dans les arbres âgés de 5-6 ans, alors que l'accroissement correspondant de biomasse est de respectivement 25 pour cent (Omo-Ajebandele) et 66 pour cent (Ubiaja). Les variations des éléments individuels en fonction de l'âge (potassium chez Gmelina arborea et calcium chez Pinus caribaea) apparaissent toutefois beaucoup plus marquées. Chez Gmelina, l'augmentation de la teneur en Ca et la diminution de la teneur en K avec l'âge sembleraient liées à la modification du rapport cime-hauteur totale, comme l'ont suggéré Madwick et al. (1977). Une exploitation par arbres entiers ou par fûts entiers aurait pour résultat qu'au bout de la même période totale, plusieurs révolutions de 5-6 ans exporteraient davantage d'éléments nutritifs qu'une unique récolte effectuée à un âge plus mûr. Le potassium, qui est l'élément immobilisé en plus grande quantité par les jeunes arbres au Nigeria et qui est, après N, l'élément le plus largement immobilisé au Brésil (tableau 4.4, p. 25) peut devenir critique pour la croissance de Gmelina dans les situations où il a tendance à être peu abondant.

Dans la plupart des zones étudiées, il n'existerait pas de données sur l'absorption d'éléments nutritifs par Pinus caribaea, mais les résultats des analyses d'échantillons d'arbres (tableau A.6, p. 70) indiquent que la teneur en calcium du bois de fût augmente avec l'âge. Cela signifie que les pertes de Ca pour le sol seraient plus importantes lorsque les arbres ont atteint 13-15 ans que lorsqu'ils n'ont que 8-9 ou 5-6 ans. Toutefois, la comparaison entre les tableaux A.6 (p. 70) et A.12 (p. 84) suggère que la quantité d'éléments nutritifs immobilisée dans les arbres pourrait également être en corrélation positive avec les quantités assimilables et probablement aussi avec les réserves contenues dans le sol.

En moyenne, à peu près 80 pour cent des éléments nutritifs contenus dans les arbres se trouvent dans le bois de fût et l'écorce, qui sont tous deux généralement enlevés au moment de la récolte. Une immobilisation préférentielle d'éléments nutritifs de base par les Verbenaceae a été signalée par Nwoboshi (1972) et Chijioke (1978) et, dans le cas d'autres feuillus, par Rennie (1975) et Golley et al. (1975). Les résultats présents confirment que, si cette observation est généralement vraie, l'élément nutritif particulier qui est immobilisé dans la plus large mesure dépend de l'âge auquel la récolte est effectuée. Les données présentées au tableau 4.4 de la page 25 n'indiquent pas que les feuillus immobilisent davantage d'éléments nutritifs que les conifères du même âge comme le signale Ralston (sous presse) et le mentionnent Wells et Jorgensen (1979), du moins à São Miguel, au Brésil, où les deux types d'arbres ont été plantés sur le même site.

5.2 Prélèvements d'éléments nutritifs et potentiel soutenu du terrain

Les analyses de végétaux et de sols ont fourni des estimations des quantités d'éléments nutritifs présentes dans les arbres de tel ou tel âge, et dans les terrains où ils poussent. Au moment de la rédaction du présent document, on ne disposait pas d'estimations (par analyse chimique) des réserves d'éléments nutritifs contenues dans les sols, mais les données sur le matériau d'origine en donnent toujours une bonne indication. Il est évident que les récoltes qui entraînent le prélèvement dans le système de grandes quantités d'éléments nutritifs épuisent le sol (Wells et Jorgensen, 1979), mais on a parfois négligé le fait que, si de tels prélèvements périodiques sont pratiqués de façon constante, ils peuvent réduire la capacité du sol à fournir des éléments nutritifs et par conséquent faire tomber le stock mobilisable à un niveau inférieur à celui nécessaire pour assurer une nutrition convenable des arbres. Les quantités d'éléments nutritifs assimilables présentes dans le sol dépendent d'une combinaison de plusieurs facteurs, dont certains ne sont pas encore très bien compris. En outre, on n'en sait pas encore assez sur l'importance relative de ces disponibilités et des besoins physiologiques de l'essence cultivée dans la détermination des quantités absorbées.

Le potentiel à long terme du terrain dans un système forestier de plantation peut donc être considéré comme l'aptitude du sol considéré à maintenir une production d'éléments nutritifs suffisante pour assurer la nutrition d'une essence particulière. On sait que la plupart des éléments nutritifs contenus dans le sol sont soumis à des flux et peuvent se présenter sous formes assimilable, lentement assimilable et inassimilable. La capacité du système radiculaire d'un arbre à tirer parti de ces diverses formes dépend dans une large mesure de la quantité d'éléments nutritifs présents sous forme facilement assimilable dans la zone des racines et, pour certaines essences, d'une adaptation spéciale de celles-ci (par exemple mychorizes) qui les rend capables d'exploiter des ressources "inassimilables". Cela pourrait conduire à considérer comme relative l'idée d'un potentiel soutenu du terrain. Si la teneur en éléments nutritifs d'un peuplement au moment de la récolte est exprimée en pourcentage de la teneur en éléments nutritifs de la litière, il apparaît clairement que la minéralisation de la seule litière, en particulier dans les plantations de Gmelina, n'est pas suffisante pour maintenir le potentiel du sol tout au long de l'habituelle révolution de 5-6 ans (tableau 5.2, p. 34). Même si l'on additionne les quantités présentes (sous forme assimilable) dans le sol minéral à celles contenues dans la litière au lieu de considérer uniquement ces dernières, on voit que les quantités de P et de K immobilisées par Gmelina restent supérieures dans la plupart des cas aux quantités disponibles dans le sol, ce qui pourrait avoir une incidence sur l'entretien des sols de plantation.

Il est donc nécessaire d'estimer les rapports entre d'une part les quantités totales d'éléments nutritifs présentes dans les arbres qui sont exportées lors de la récolte et, de l'autre, les réserves contenues dans le sol ("capital" nutritionnel) et les quantités "mobilisables". Le premier donnera une idée approximative du nombre de révolutions qu'un sol particulier pourrait théoriquement soutenir avec la forme d'exploitation considérée, et le second une indication des possibilités immédiates du sol quant à la fourniture d'éléments nutritifs, lesquelles sont plus importantes pour le court terme. Au moment de la rédaction du présent document, on ne disposait pas de données sur les quantités totales d'éléments nutritifs présentes dans le sol, mais, à défaut, on s'est fondé sur des renseignements puisés dans la littérature (ODA Land Resource Report No. 23, Murdoch, 1976) pour avoir une indication de la teneur totale en éléments nutritifs des sols de la zone d'Omo-Ajebandele. Les tableaux 5.1 et 5.2 de la p. 34 montrent que les sols du socle cristallin de cette

Tableau 5.1 - TENEUR EN ELEMENTS NUTRITIFS DE LA LITIERE ET DU SOL DANS LA ZONE D'OMO-AJEBANDELE

Age de la plantation (années)		% du poids sec					kg/ha				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Litière	5-6	1,55	0,11	1,88	0,40	0,43	30	2,1	36	8	8
	12-13	2,55	0,11	1,79	0,45	0,40	44	1,9	31	8	7
		Eléments nutritifs extractibles par NH_4OAc					(densité apparente du sol admise à 1,45)				
		N%	P(µg/g)	K(µg/g)	Ca(µg/g)	Mg(µg/g)					
Sol minéral	5-6	0,238	3,4	31	632	74	-	20	180	3 666	429
	12-13	0,209	1,5	34	499	66	-	9	197	2 894	383
(moyenne pondérée, % de N et µg/g des autres éléments à la profondeur de 0-40 cm)											
		Teneur totale en éléments nutritifs									
(0-50 cm)		-	683	6 250	> 10 000	2 125	13 200	3 879	35 500	> 60 000	12 070

(ODA Land Resource Report No. 23, Murdoch et al., 1976

Tableau 5.2 - PRELEVEMENT D'ELEMENTS NUTRITIFS EN POURCENTAGE DES RESERVES DE LA LITIERE ET DU SOL - P, K, Ca, Mg - OMO AJEBANDELE

		% DE LA LITIERE Omo-Ajebandele	% DU SOL MINERAL + LITIERE Omo-Ajebandele (élém. nutritifs extractibles)	% DE LA TENEUR TOTALE DU SOL Omo-Ajebandele
Arbres de 12,5 ans Bois de fût et écorce	P	990	174	0,5
	K	2 750	365	2,4
	Ca	8 890	24	1,2
	Mg	390	7	0,2
Arbre entier	P	1 640	284	0,8
	K	3 270	435	2,8
	Ca	9 680	26	1,3
	Mg	630	11	0,4
Arbres de 5,5 ans Bois de fût et écorce	P	1 900	179	1,0
	K	2 530	418	2,6
	Ca	6 520	13	0,8
	Mg	450	8	0,3
Arbre entier	P	2 350	223	1,3
	K	2 880	475	2,9
	Ca	7 260	15	0,9
	Mg	620	12	0,4

partie du Nigeria ne courent aucun risque immédiat d'épuisement de leurs réserves, car les quantités d'éléments nutritifs prélevées à chaque révolution sont faibles par rapport aux réserves totales. Même pour K, qui est l'élément le plus largement immobilisé par les arbres, le prélèvement ne dépasse pas 3 pour cent. Toutefois, on peut considérer que les sols pauvres en potassium total ont tendance à limiter la croissance de Gmelina arborea dans des révolutions successives. Dans la zone d'Ubiaja, au Nigeria, où l'on sait que les réserves d'éléments nutritifs des sols sont beaucoup moins abondantes qu'à Omo-Ajebandele (Kowal et Tinker, 1959), la situation est certainement plus précaire ; de même dans l'Amazone, pour les autres sols sédimentaires.

En effet, s'il y a effectivement dans les révolutions successives une réduction de la croissance des arbres sur les sols dérivés du socle cristallin du type étudié, celle-ci est plus probablement le résultat de défauts physiques du sol ou de l'impossibilité du passage de la forme "inassimilable" à la forme "assimilable" des éléments nutritifs au rythme des exigences des arbres ; elle n'est certainement pas le résultat d'une absence des éléments nutritifs indispensables. La carence en éléments nutritifs, conduisant à une moindre croissance et à un retard dans la fermeture du couvert au cours des rotations successives, pourrait également être le résultat d'une lente minéralisation de la matière organique.

5.3 Modifications physico-chimiques des sols et fertilité

Les résultats des recherches sur l'évolution des sols dans le temps au Nigeria ont montré une augmentation générale du pH et du total des cations extractibles, ainsi que des réductions de la teneur en phosphore assimilable, en azote total et en matière organique qui sembleraient interdépendantes. Les pics marqués observés pour certaines de ces propriétés au cours des deux premières années (figures A.12 et A.16) sont probablement liés aux effets du brûlage sur le sol. Le deuxième pic, observé lorsque les arbres sont âgés de 4 à 6 ans, résulte plus probablement de l'accumulation de litière et de l'augmentation consécutive de la teneur en matière organique, ainsi que la libération d'azote et de phosphore, et des éléments basiques. La situation au cours de la 13ième-15ième année représente un équilibre, les effets du brûlage sur le sol s'étant atténués et les modifications du sol résultant alors directement de la croissance de la végétation. Lundgren (1978) a signalé qu'en milieu tropical l'effet du brûlage disparaît au bout d'à peu près sept ans. Les teneurs plus élevées en bases échangeables dans les 40 cm superficiels indiquent probablement que Gmelina arborea a une efficacité de mobilisation supérieure à celle de la forêt naturelle, d'où les pH plus élevés observés dans les parcelles reboisées. Dans la plupart des cas, les modifications des caractéristiques du sol sont particulièrement évidentes dans les 50 cm superficiels du profil, qui sont la zone de plus grande activité des racines. Les variations intéressant les éléments nutritifs lessivables sont observables sur de plus grandes profondeurs dans les sols sableux que dans les sols argileux, mais l'inverse se vérifie pour la matière organique et l'azote. Les modifications de ces dernières propriétés, ainsi que la coloration plus cliare observée uniquement dans le cas des sols assez lourds, semblent être le résultat d'une activité accrue des organismes vivant dans le sol (notamment les vers de terre) qui font pénétrer lusqu'à de plus grandes profondeurs la matière organique de la couche superficielle lorsqu'ils s'alimentent et fouissent dans la terre.

Il faut beaucoup plus longtemps pour que les caractéristiques physiques du sol présentent des modifications susceptibles d'affecter notablement la croissance. Mais, le cas échéant, elles peuvent revêtir beaucoup d'importance pour les révolutions ultérieures, comme on peut le voir par exemple dans les plantations brésiliennes de Gmelina et de pins (tableau A.10). L'augmentation de la densité apparente et de la teneur en humidité, ainsi que la réduction de la teneur en air dans les sols de granulométrie moyenne à assez fine plantés de Gmelina peuvent (si le phénomène continue avec les révolutions successives) altérer la texture du sol dans une mesure suffisante pour modifier effectivement les processus de mobilisation des éléments nutritifs et d'absorption par les racines. Le résultat peut en être une situation où les éléments nutritifs sont présents en abondance, mais inassimilables par les arbres. Les sols à granulométrie plus grossière plantés de Gmelina dans cette zone ont une moindre densité apparente et une plus forte porosité que ceux de la forêt naturelle. Il est évident qu'en tel cas leur appauvrissement sera le résultat de pertes d'éléments nutritifs essentiels entraînés par lessivage à des profondeurs supérieurs à celles auxquelles les plantes pourraient en tirer parti. Etant donné que ces sols sont marginaux sur le plan

nutritionnel, on pourrait les considérer comme plus menacés et justifiant un entretien plus minutieux. L'augmentation de la densité apparente de ces sols à granulométrie grossière dans les plantations de pins pourrait affecter la croissance de plantations futures plutôt à la période d'implantation qu'aux stades ultérieurs, car on sait que les pins en général sont capables de résister à des conditions difficiles pendant leur croissance. Des signes de décoloration de la couche superficielle ont été observés dans les profils de sols plantés de pins. Ce phénomène resultait probablement du lessivage des polyphénols provenant de la litière de pins et entraînés en profondeur.

5.4 Evaluation du ralentissement de la croissance sur les sols de plantations

Divers auteurs se sont efforcés d'établir des lignes d'orientation en ce qui concerne la capacité productive des sols, spécialement dans les zones où il est prévu d'installer des monocultures (par exemple Chijioke, 1978 ; Golley et al., 1975 ; Rennie, 1957 ; Weetman et Webber, 1972). Stark (1978) a suggéré une formule pour évaluer la durée de vie biologique d'un sol, de laquelle on a tiré la formule légèrement modifiée ci-après :

$$\qquad\qquad x\ R$$
$$B + L - P + E + O + H + S - D - W$$

où A = Durée biologique (nombre estimatif d'années restantes pour la croissance des arbres) ;
T = Teneur totale du sol en éléments nutritifs jusqu'à la limite de la zone de pénétration des racines (60 cm) ;
B = Perte d'éléments nutritifs entraînés au-dessous de la zone de pénétration des racines par suite du brûlage, par révolution (en eq. m/m2) ;
L = Perte par lessivage d'éléments nutritifs entraînés au-dessous de la zone de pénétration des racines, par révolution (en eq. m/m2) ;
P = Apport dû aux précipitations (plus poussière), par révolution (en eq. m/m2) ;
E = Perte par érosion, par révolution (en eq. m/m2) ;
O = Perte par écoulement superficiel, par révolution (en eq. m/m2) ;
H = Perte de récolte, par révolution (en eq. m/m2) ;
S = Perte d'éléments nutritifs dans la fumée et la poussière, par révolution (en eq. m/m2) ;
D = Pompage d'éléments nutritifs en profondeur par les racines profondes (au-delà de 60 cm) ;
W = Taux de délitement par révolution, à la profondeur de la zone de pénétration des racines (60 cm),(en eq. m/m2);
R = Longueur de la révolution en années.

Boyle (1973) a également établi un budget des éléments nutritifs, avec une estimation des apports et des enlèvements. Si l'indice est supérieur à l'unité, cela indique que les apports au cours de la révolution sont plus que suffisants pour compenser les exportations au moment de la récolte. Dans ce contexte, les apports englobent les réserves contenues dans les 15 cm superficiels du sol plus les quantités dont on escompte la fourniture par suite des précipitations, de la minéralisation et du délitement au long de la révolution prévue. Les enlèvements sont les pertes d'éléments nutritifs résultant de l'exploitation par arbres entiers.

Les deux approches sont analogues en ceci qu'elles font intervenir les aspects majeurs du cycle des éléments nutritifs tels que nous le connaissons ; elles ne diffèrent que dans les détails, lesquels dépendent en fait du peuplement et des conditions considérées.

En utilisant une méthode analogue , on peut établir un budget des éléments nutritifs pour la zone d'Omo-Ajebandele, sur la base des données reproduites aux tableaux A.7 et 5.1. Pour K, qui est l'élément prélevé en plus grande quantité, le budget (kg/ha) au début de la deuxième révolution de 5-6 ans se présenterait comme suit :

1.	Eléments nutritifs disponibles dans le sol (0-40 cm)	180
2.	Eléments nutritifs présents dans la litière	36
3.	Eléments nutritifs présents dans le feuillage et le bois de branche retournés au sol à la fin de la première révolution	124
4.	Total 1-3	340
5.	Absorption escomptée au cours de la deuxième révolution (supposée identique à celle de la première)	1 039
6.	Quantité nette remplacée ou exportée, obtenue en soustrayant les pertes annuelles par érosion et lessivage des apports annuels provenant des précipitations, du délitement et du "pompage profond" par les racines au-dessous de 40 cm de profondeur, supposée égale à	0
7.	Déficit prévu (5-4)	699
8.	Réserve totale d'éléments nutritifs (0-50 cm)	35 500

Le calcul ci-dessus suppose que les apports provenant du délitement, du "pompage profond" et des précipitations équilibrent les exportations par lessivage et par érosion, pour la simple raison que ces données ne sont pas disponibles, ce qui bien sûr n'est pas toujours le cas. Si K peut se révéler limitant dans ces situations, le calcul des apports provenant du sol doit également tenir compte des concentrations d'autres éléments nutritifs : un excès de l'un compromettrait les possibilités de mobilisation des autres.

On voit que, si l'on considère que les réserves d'éléments nutritifs du sol se limitent à la fraction facilement mobilisable, on peut escompter un ralentissement de la croissance au début de la deuxième révolution, à moins d'une fumure potassique. D'autre part, les réserves totales de K sont considérables. Comme il a été dit plus haut, la corrélation entre le taux de transformation des éléments "inassimilables" en éléments "assimilables" et le taux de prélèvement par le peuplement forestier a toutes chances de représenter le facteur critique qui déterminera la capacité du site à porter de nombreuses révolutions, mais on possède encore très peu de données à ce sujet.

CHAPITRE 6

RESUME ET CONCLUSIONS

Les recherches dont les résultats ont été présentés ici ont été effectuées dans des plaines tropicales humides portant des monocultures extensives qui en sont encore soit à leur première révolution, soit au début de la deuxième (Brésil). Les observations faites sur le terrain et les analyses chimiques ont montré que les quantités d'éléments nutritifs immobilisées dans les arbres sont en rapport avec ce qui pourra être récolté et dépendent du potentiel de la station. Au stade actuel, il est difficile de prévoir l'effet final d'une monoculture sur le rendement et sur le potentiel du terrain. Néanmoins, la comparaison entre les caractéristiques physiques et chimiques du sol mesurées à différents moments et à différentes profondeurs au cours de la première révolution et ces mêmes caractéristiques dans la forêt naturelle permet de dégager les conclusions ci-après :

6.1 Conclusions

1. Les éléments nutritifs basiques et l'azote sont principalement immobilisés dans les parties aériennes des arbres ; il en est spécialement ainsi pour le potassium chez Gmelina arborea âgé de 5 à 6 ans et le calcium chez Pinus Caribaea. Soixante-dix à quatre-vingts pour cent des éléments nutritifs ainsi immobilisés sont perdus lors de la récolte du bois de fût plus écorce.

2. Le peuplement de Gmelina à révolution de courte durée exige au moins deux fois plus d'éléments nutritifs du sol que des peuplements plus âgés. Au Nigeria, un peuplement de 5-6 ans prélève 132 pour cent de plus de K et 50 pour cent de plus de Ca que le peuplement de 13-15 ans.

3. Les monocultures de Gmelina arborea et de Pinus caribaea déterminent des modifications opposées dans les différents types de sols -de granulométrie grossière à moyenne et serrée- et elles exigent donc des méthodes différentes d'entretien des sols.

4. Les cultures de Gmelina sur les sols à granulométrie grossière des zones d'Ubiaja et de São Miguel pourraient courir un plus grand risque de baisse des rendements au cours des révolutions successives que celles des zones d'Omo-Ajebandele et de Pacanari. Cela pourrait tenir à un lessivage excessif des maigres ressources en éléments nutritifs, lui-même imputable à l'augmentation de la porosité et à la diminution de la densité apparente provoquées par la croissance de Gmelina.

5. La baisse du rendement, au cas où elle serait observée sur des sols de granulométrie moyenne à fine (en particulier sur le socle cristallin), aura toutes chances de résulter d'un mauvais état physique du sol se traduisant par d'insuffisantes possibilités de mobilisation des éléments nutritifs.

6. Le total des éléments basiques échangeables dans la couche superficielle du sol des plantations est nettement plus élevé que dans la forêt originelle, ce qui fait ressortir l'efficacité du recyclage des éléments nutritifs par Gmelina arborea, mais les concentrations de K sont en diminution constante.

7. Jusqu'à 25 pour cent des pertes d'éléments nutritifs dues à l'exploitation par arbres entiers pourraient être évitées si les rémanants étaient laissés sur les lieux. Les pertes pourraient être réduites de 5 à 10 pour cent de plus si l'écorce était également restituée au site.

8. Sur les stations brésiliennes, l'effet d'un horizon décoloré par suite probablement du lessivage de composés polyphénoliques provenant de la litière de pins, ne peut pas être évalué immédiatement, mais il pourrait être notable au cours des révolutions futures.

9. Rien ne permet de penser après la présente étude que les révolutions ultérieures des monocultures de pins seront affectées par l'exportation d'éléments nutritifs du sol du fait de l'exploitation. Toutefois, la réduction de la teneur en humidité du terrain sous les pins deviendra probablement le principal facteur limitant de la croissance dans les révolutions ultérieures.

10. Dans toutes les situations étudiées - forêts naturelles ou plantations - l'azote total était présent à des doses plus qu'optimales, malgré les importantes quantités immobilisées par Gmelina et par les pins. L'exploitation ne menace donc en aucune façon l'équilibre azoté futur du sol.

6.2 Recommandations

Les conclusions dégagées de la présente étude permettent de formuler les recommandations ci-après à l'intention des forestiers qui s'occupent de la production de feuillus ou de résineux à croissance rapide, en particulier *Gmelina arborea* et *Pinus caribaea* dans les plaines tropicales humides.

1. Autant que possible, tout les rémanents de l'exploitation forestière et des opérations de nettoyage devraient être laissés sur les lieux. Outre qu'ils servent de mulch pour conserver l'humidité et réduire l'érosion du terrain, les précieux éléments nutritifs qu'ils restituent au sol au cours du processus de minéralisation viennent remplacer une partie de ceux qui ont été exportés lors de la récolte. La pratique du brûlage au début de la deuxième révolution et des suivantes devrait être découragée.

2. Il faudrait se protéger autant que possible contre les risques liés au feu dans les plantations de pins au cours de la croissance ou après la récolte. Outre la perte de l'effet de mulch de la litière, qui fait que les plantations consécutives souffrent du manque d'humidité, de grandes quantités d'éléments nutritifs sont perdus par suite du lessivage et de l'érosion dans les sols mal structurés.

3. Il faudrait suivre en permanence l'état du sol dans des placettes d'échantillonnage afin d'établir la corrélation entre les rendements et l'amélioration ou la dégradation du sol. Des propositions en vue d'un programme pilote d'inventaire systématique des sols sont formulées à l'Annexe 2. Un inventaire périodique des caractéristiques du sol *sur le même* emplacement est indispensable pour distinguer les modifications qui se sont produites en réponse au traitement des différences initiales réelles entre les sols de parcelles qui *semblaient* seulement peut-être installées sur des stations analogues.

4. Il faudrait s'intéresser à la possibilité de fertilisation des forêts, spécialement sur les sols marginaux. Il existe dans les plaines tropicales humides de vastes zones d'origine sédimentaire et la plupart des sols sont actuellement soumis à une foresterie intensive qui implique de gros investissements. On perdra beaucoup d'argent si l'on continue de procéder par tâtonnements. Tout bon plan d'aménagement devrait prévoir une étude sur les rapports nutritionnels entre le sol et les arbres en sorte que des mesures correctives puissent être prises en cas de baisse des rendements.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Anon. 1970 A glossary of soil science terms. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.

Anon. 1977 Research Report, Department of Forestry, Queensland.

Anon., 1978 NIFOR Technical notes of Nigerian Inst. for Oil Palm Research, Benin (unpubl.).

Ball, J.B. and Daniyan, C.O. 1977 Summary of plantation areas in the Southern States of Nigeria. Internal paper, Federal Department of Forestry, Nigeria.

Black, C.A. (ed.) 1965 Methods of soil analysis. Amer. Soc. of Agronomy, Agronomy Monograph No. 9, part 2.

Boardman, R. 1973 Longterm productivity; Position paper For. Res. Working Rep. Gp 3. Woods and Forests Dept., South Aust. (unpubl.).

Boardman, R. 1978 Productivity under Successive Rotations of Radiata Pine. Tech. Notes, Aust. For. 41(3) 177-9.

Bouyoucos, G.J. 1951 A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. Agron. J. 43, 434-38.

Boyle, J.R., Phillips, J.J. and Ek, A.R. 1973 'Whole tree' harvesting: Nutrient budget evaluation, J. Forestry 71:760-2.

Chaffey, D.R. 1973 Decline in productivity under successive rotations of forest monoculture. Land Resources Division, ODA (mimeo, unpubl.).

Challinor, D. 1968 Alterations of surface soil characteristics by four tree species, Ecology 49, 286-90.

Champion, H.G. and Brasnett, N.V. 1958 Choice of Tree Species. Forestry Development Paper No. 13. FAO, Rome.

Chijioke, E.O. 1978 Soil-site factors in relation to growth and wood quality of Gmelina arborea (Linn) in Western Nigeria. Ph. D. Thesis, Dept. of Agronomy, Univ. of Ibadan.

Cornforth, I.S. 1970 Reafforestation and nutrient reserves in the humid tropics. J. of Applied Ecology 7 (3) 609-15.

Debano, L.F. and Rice, R.M. 1970 Fire in vegetation management. Proc. sym. interdisciplinary aspects of watershed management, Montana State University pp. 327-346.

Dierendonck, F.J.E. 1959 The manuring of coffee, cocoa, tea and tobacco. Centre d'étude de l'azote, Geneva, Pubn. No. 3.

Dunsmore, J.R. et al. 1976 The agricultural development of the Gambia: an agricultural, environmental and socioeconomic analysis. Land Resource Study No.22, LR Division, MOD, Tolworth.

Earl, D.E. 1975 Forest Energy and Economic Development. Oxford, Clarendon Press.

Eckholm, E.P. 1975a The other energy crisis: firewood. Worldwatch Paper No.1.

Eckholm, E.P. 1975b La crise dont on ne parle pas, Cérès 8(6): 44-47, FAO, Rome

Edmisten, J. Preliminary studies of the nitrogen budget of a tropical rain forest. In 'A
1970 Tropical Rain Forest' A Study of Irradiation and Ecology at El Verde, Puerto Rico, ed. H.T. Odum and R.F. Pigeon. Book 3, pp. 211-5. U.S. Atomic Energy Commission, Washington, D.C.

Evans, J. Plantations: productivity and prospects, Aust. For. 39(3) 150-63.
1976

Evans, J. Report on the 1977 resurvey of second rotation Pinus patula in the Usutu Forest
1978a Swaziland (unpubl.).

Evans, J. Longterm productivity in tropical and subtropical plantations, 8th World
1978b Forestry Congress voluntary paper. Jakarta, Indonesia, 16-28 October 1978.

FAO Directives pour la description des sols (première édition), FAO, Rome.
1966

FAO/Unesco Soil map of the world. Vol.IV. South America.
1971

FAO/Unesco Carte mondiale des sols, 1:5 000 000. Vol. 1, Légende. Unesco, Paris.
1974

FAO Rapport de la troisième session du Comité des forêts, COFO-76/Rep., Rome.
1977

FAO Le rôle des forêts dans le développement des collectivités locales, Etude
1978 FAO: Forêts No.7, Rome.

Fishwick, R.W. Some Sudan Zone plantation problems. Proc. 1st Niger For. Conf. Kaduna,
1964 35-36

Florence, R.G. Factors that may have a bearing upon the decline of productivity under
1967 forest monoculture. Aust. For. 31, 50-71.

Fraser, A.I. et al. Forest regeneration, Surinam. International For. Sci. Consultancy,
1977 Periwik, Scotland.

Fredriksen, R.L. Nutrient budget of a Douglas Fir forest on an experimental watershed in
1972 Western Oregon. In Pure Research on Coniferous Forest Ecosystems, pp. 115-31.

Golley, F.B., McGinnis, J.T., Clements, R.G., Child, G.I. and Duever, M.J. Mineral Cycling
1975 in a Tropical Moist Forest Ecosystem. Univ. of Georgia Press, Athens, 248 p.

Griffith, A.L. and Gupta, R.S. Soils in relation to teak with special reference to lateri-
1948 sation. Indian For. Bull. No.141.

Hamilton, C.D. The effect of Monterey pine (Pinus radiata D.Don) on the properties of
1964 natural eucalyptus forest and woodland soils. M.Sc. Thesis. Univ. of W. Australia.

Hamilton, C.D. Changes in the soil under Pinus radiata. Aust. For. Vol. 29, 275-89.
1965

Handley, W.R.C. Mull and mor formation in relation to forest soils. For. Com. Bull. No. 23,
1954 London.

Hatchell, G.E., Ralston, C.W. and Foil, R.R. Soil disturbances in logging; effects on soil
1970 characteristics and growth of loblolly pine in the Atlantic coastal plain. J. Forestry 68. 772-5.

Hopkins, B. Vegetation of the Olokemeji Forest Reserve, Nigeria; IV The litter and soil
1966 with special reference to their seasonal changes. J. Ecol. 54:687-703.

India Progress Report 1966-72. 10th Commonw. For. Conf.
1974

Jeffrey, D.W. A note on the use of ignition loss as a means for the approximate estimation
1970 of soil bulk density. J. Ecology 58, 297-9.

Jenny, H., Gessel, S.P. and Bingham, F.T. Comparative study of decomposition rates of
1949 organic matter in temperate and tropical regions. Soil Sci. 68(6) 419-32.

Johnson, N.E. Biological opportunities and risks associated with fast growing plantations
1976 in the tropics. J. of Forestry 74(4) 206-211.

Keeves, A. Some evidence of loss of productivity with successive rotations of Pinus radiata
1966 in the south-east of S. Australia. Aust. For. 30, 51-63.

Kenworthy, J.B. Water and nutrient cycling in a tropical rain forest. In Trans. 1st
1971 Aberdeen-Hull Symp. on Malesian Ecol. 49-65. Univ. of Hull, Dept. of Geography, misc. ser. No. 11.

King, K.F.S. Agrisilviculture (The Taungya System). Bulletin No. 1, Department of Forestry,
1968 Univ. of Ibadan, 109 p.

Kowal, J.M.L. and Tinker, P.B.H. Soil changes under a plantation established from high
1959 secondary forest. J.W. Afr. Inst. Oil Palm Res. 2(8) 376-89.

Krauss, G., Muller, K. and Gartner, G. Standortsgemässe Durchführung der Abkehr von der Fichtenwirtschaft in nordwestsächsischen Niederland. Thar. forstl. Jb. 90, 481-715.

Lamb, A.F.A. Fast-growing timber trees of the lowland tropics, No. 1, Gmelina arborea.
1968 C.F.I. Dept. of Forestry. Univ. of Oxford.

Laurie, M.V. and Griffith, A.L. The problem of the pure teak plantation. Indian For. Rec.
1942 (n.s.). Silv. 121 p.

Lawton, R.M. A review of the possible causes of yield decline in second rotation conifer
1973 plantations and some suggested lines of investigation. Land Resources Division, ODA (mimeo).

Lundgren, B. Aims and methods of studying soil changes under different forms of land use
1977 in the humid tropics. In Tropical rainforest ecosystems research. NAB/IUFRO workshop. Special report No. 1, Hamburg-Reinbeck.

Lundgren, B. Soil conditions and nutrient cycling under natural and plantation forests in
1978 Tanzanian Highlands. Reports in Forest Ecology and Forest Soils 31, Dept. of Forest Soils, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

Madgwick, H.A.I., Jackson, D.S. and Knight, P.J. Above-ground dry matter, energy and
1977 nutrient contents of trees in an age series of Pinus radiata plantations. N.Z. Journ. of For. Sci. 7(3) 445-468.

Mergen, F. and Malcolm, R.M. Effects of hemlock and red pine on physical and chemical
1955 properties of two soil types, Ecology 36, 468-73.

Muir, W.D. The problems of maintaining site fertility with successive croppings. Aust. J.
1970 Sci. 32, 316-24.

Murdoch, G. et al. Soils of the Western State savanna in Nigeria. Land Resource Study
1976 No. 23, LR Division, MOD, Tolworth.

Nwoboshi, L.C. Differential influences of two exotic forest tree species on a soil. J. West
1972 African Sci. Ass. 4:31-50.

Nye, P.H. The relative importance of fallows and soils in storing plant nutrients in Ghana.
1958 J.W. Afr. Sci. Assoc.4:31-50.

Nye, P.H. Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. Plant and Soil
1961 13(4):333-346.

Nye, P.H. and Greenland, D.J. Changes in the soil after clearing tropical forest. Plant
1964 and Soil 21 (1):101-112.

Odell, R.T. et al. Characteristics, classification and adaptation of soils in selected areas
1974 of Sierra Leone, West Africa. Agric. Exp. Stn., Univ. of Illinois Bull. 748.
Njala Univ. College, Sierra Leone Bull.4

Odland, I.E., Bell, R.S. and Smith, J.B. The influence of crop plants on those which follow,
1950 V. Bull. Agric. Exp. Stn. Rhode Isl. Stat. Coll., Kingston No. 309.

Orman, H.R. and Will, G.M. The nutrient content of Pinus radiata trees. N.Z. J. Sci. 3(3):
1960 510-22.

Page, G. Some effects of conifer crops on soil properties. Commonw. For. Rev. 47, 52-62.
1968.

Pokhiton, P.P. The effect of various tree species on soil. Soviet Soil Sci. (6):620-24,
1958 A.I.B.S. Translation of Pochvovedeniye.

Ralston, C.W. In proceedings of symposium on Impact of intensive harvesting on forest
(in press) nutrient cycling (13-16 August 1979). State Univ. of New York, College of
Environmental Science, Syracuse.

Rennie, P.J. The uptake of nutrients by timber forest and its importance to timber produc-
1957 tion in Britain. Quart. J. For. 51, 101-115.

Rennie, P.J. Some longterm effects of tree growth on soil productivity. Comm. For. Review,
1962 41, 209-13.

Robinson, J.B.D., Hosegood, P.H. and Dyson, W.G. A note on a preliminary study of the
1966 effects of an East African softwood crop on the physical and chemical condition of
a tropical soil. Comm. For. Rev. Vol 45(4) No. 126. 359-365.

Robinson, R.K. Changes in mycorrhizal flora on roots of Pinus patula in Swaziland. S. Afr.
1971 For. J.78:14-15.

Robinson, R.K. Mycorrhiza and "Second rotation decline" in Pinus patula in Swaziland.
1973 S. Afr. For. J. 84:16-19.

Sanchez, P.A. (Ed.) A review of soils research in tropical Latin America. N.C. Agric. Exp.
1973 Stu. Tech. Bull. 219. Raleigh.

Savory, B.M. Specific replant diseases. Res. Rev. Commonw. Bur. Hort. Plant. Crops No. 1.
1966

Seth, S.K., Kaul, O.N. and Gupta, A.C. Some observations on nutrition cycle and return of
1963 nutrient in plantations at New Forest. Indian For. 89:90-98.

Slager, S. and Saro. W. Report of a study on suitability of some soils in Northern Surinam
1967 for Pinus caribaea.

Smyth, A.J. and Montgomery, R.F. Soils and land use in Central Western Nigeria. Ibadan
1962 Government Printer.

Stark, J. Soil and land use survey of part of the Eastern Province of Sierra Leone. Rep.
1968 TA 2574, FAO, Rome.

Stark, N. Nutrient content of plants and soils from Brazil and Surinam. Biotropica 2(1):
1970 51-60.

Stark, N. Man, tropical forests and the biological life of a soil . Biotropica 10(1):1-10.
1978

Stark, N.and Jordan, C.F. Nutrient retention by the rootmat of an Amazonian Rain Forest.
1978 Ecology 59(3) 434-7.

Trinidad Progress Report 1966-72 Commonw. For. Conf. U.K.
1974

Unesco Tropical forest ecosystems, a state of knowledge report. Natural resources
1978 research XIV. Unesco, Paris.

Vincent, A.J. Personal communication
1978

Walkey, A. and Black, I.A. Determination of organic matter in soil. Soil Sci. 37, 549-556.
1934

Waring, H.D. Response by Pinus radiata to fertiliser nitrogen and its significance in the
1963 maintenance of forest soil fertility. Trans. Jt. Meeting Comm. IV & V. Int. Soc.
Soil Sci., New Zealand, 791-97.

Watson, G.A. Maintenance of soil fertility in the permanent cultivation of Hevea brasiliensis
1964 in Malaya. Outlook on Agriculture 4, 103.

Watson, G.A. Culture de l'hévéa ; études sur la teneur en éléments nutritifs du sol et des
1973 arbres. Colloque international FAO/IUFRO sur l'utilisation des engrais en forêt.
Paris, 3-7 décembre 1973.

Weetman, G.F. and Webber, B. The influence of wood harvesting on the nutrient status of
1972 two spruce stands. Can. J. For. Res. 2:351-369.

Wells. C.G. and Jorgensen, J.R. In prodeedings of symposium on Impact of intensive
(in press) harvesting on forest nutrient cycling (13-16 August 1979). State Univ. of New
York, College of Environmental Science, Syracuse.

Wilde, S.A. Fertility of forest soils, its concepts and reality. 8th Int. Cong. of Soil
1964 Sci. Bucharest, Romania, 1964.

Wilde, S.A. and Iyer, J.G. Growth of red pine (Pinus resinosa Ait.) on scalped soils. Ecol.
1962 43, 771-4

Wilde, S.A. and Patzer, W.E. The role of soil organic matter in reafforestation. J. Am.
1940 Soc. Agron. 32:551-562.

Wood, P.J. and Dawkins, H.C. Forest monocultures in the tropics - ecological anxieties.
1971 Unpubl. Rep. Commonw. For. Inst.

Zuike Ph.D. thesis, Univ. of California, Berkeley, Cal. Quoted in Florence 1967.
1956

Zumer Linder, M. Firewood crisis and village forestry (mimeo, unpubl.).
1976

ANNEXE 1

DESCRIPTIONS DE SOLS REPRESENTATIFS

Note : La terminologie utilisée est conforme aux recommandations figurant dans les "Directives pour la description des sols" (première édition, FAO, 1966). La couleur des sols est décrite conformément aux symboles définis dans les Munsell Soils Colour Charts.

DESCRIPTIONS DE SOLS REPRESENTATIFS

NIGERIA

A. Ubiaja

I. Informations concernant la station

(a) Nom du profil : sables acides du Benin (type Alagba).

(b) Unité supérieure de classification : nitosols eutriques.

(c) Date de la description : 23.10.78 et 24.10.78.

(d) Auteur de la description : E.O. Chijioke.

(e) Localisation : dans les plantations de 1964, on a examiné une succession topographique, allant du haut en bas, du côté gauche de la route conduisant du service forestier d'Ubiaja à l'Udo Rest House. Dans la plantation de 1973, les profils étaient distribués au hasard sur le site relativement plat de cette plantation, qui se trouve à 22 km au nord à peu près des parcelles de 1964. Dans les zones de forêt naturelle, qui s'étendent entre les plantations de 1964 et celles de 1973, les profils étaient répartis au hasard.

(f) Altitude : 100-270 mètres au-dessus du niveau de la mer.

(g) Pente : 0-4 pour cent ; les zones de plantations ont une pente de quasi-nulle à faible.

(h) Végétation et utilisation du sol : les plantations (communication personnelle) ont été substituées à des forêts secondaires qui contenaient une grande variété de feuillus et de lianes à différents stades de maturité. Il y avait des signes d'utilisation de ces terres pour l'agriculture paysanne à peu près 30 à 100 ans auparavant, mais de restauration après un épuisement temporaire.

(i) Climat : Précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 1 800 mm, réparties sur 7-8 mois humides ; il y a 4-5 mois secs. Températures diurnes moyennes de l'ordre de 29°C au maximum et 20°C au minimum.

II. Informations générales concernant le sol

(a) Roche-mère : principalement, lits de grès non consolidés à granulométrie grossière (probablement sables meubles) où la stratification entrecroisée et la fausse stratification indiquent qu'ils se sont déposés dans une eau peu profonde.

(b) Drainage : normal à excessif.

(c) Etat hydrique du sol : modérément humide.

(d) Profondeur de la nappe phréatique : non mesurable, mais au moins 5 mètres.

(e) Présence de cailloux en surface, etc. : néant.

(f) Manifestations de l'érosion : généralement faibles dans les zones de plantations.

(g) Influence humaine : excepté les traces d'activité agricole notées lors de l'établissement des plantations, l'influence d'une activité humaine récente n'est guère sensible.

III. Brève description générale des profils

(a) Forêt naturelle : limon sableux grossier, brun rougeâtre profond à rouge jaunâtre, assez humide, avec une couche assez épaisse de matière organique déposée sur une couche superficielle très feutrée contenant de nombreuses grosses racines réparties latéralement et à proximité de la surface. D'abondantes racines fines et moyennes sont visibles dans les 40 cm superficiels et ces horizons sont généralement plus foncés que les horizons correspondants des profils des plantations. Dans les horizons supérieurs, les couleurs sont émaillées de mouchetures de sable blanc.

(b) Plantation de 1973 (Ugboha) : sol profond, normalement drainé, rouge jaunâtre, à texture de sable grossier et de limon sableux grossier ; assez humide jusqu'à un mètre de profondeur, la teneur en argile augmentant légèrement avec la profondeur.

(c) Plantation de 1964 (Udo Rest House) : sol profond, rouge jaunâtre vif à rouge ; limon sableux grossier à limon avec une couche superficielle assez grumeleuse ; modérément humide jusqu'à un mètre de profondeur.

IV. Description des horizons

(a) Profil de la forêt naturelle

A0 0-3 cm : Gris très foncé (5 YR 3/1) à l'état frais ; importantes quantités de matière organique fraîche et en décomposition et quelques inclusions de sol minéral, enchevêtrement dense de racines fines et moyennes ; abondants filaments blancs imputables probablement à certaines espèces de champignons ; meuble ; limite distincte à abrupte.

A1 3-8 cm : Brun rougeâtre foncé (5 YR 3/3) à l'état frais ; sable limoneux ; faiblement polyédrique subangulaire ; friable ; racines fines et moyennes assez nombreuses à abondantes ; assez nombreux pores interstitiels fins et moyens, verticaux et quelconques ; limite graduelle régulière.

A3 8-16 cm : Brun rougeâtre foncé (5 YR 3/4-4/4) à brun rougeâtre à l'état frais ; sable limoneux ; faiblement polyédrique subangulaire ; friable ; peu nombreuses racines fines et moyennes, peu nombreuses grosses racines ; assez nombreux pores interstitiels fins, moyens et quelconques ; limite graduelle régulière.

B1 16-24 cm : Brun rougeâtre (5 YR 4/4) à l'état frais ; sable limoneux ; modérément polyédrique subangulaire ; friable ; peu nombreuses fines racines, assez nombreuses racines moyennes et grosses ; assez nombreux pores interstitiels fins et moyens ; limite graduelle régulière.

B2 24-44 cm : Rouge jaunâtre (5 YR 4/6) à l'état frais ; limon argilo-sableux ; modérément polyédrique subangulaire ; peu nombreuses racines fines et moyennes, peu nombreuses grosses racines ; peu nombreux pores interstitiels moyens et assez nombreux pores interstitiels fins.

(b) Profil de la plantation de 1973

A0 0-3 cm : Gris très foncé (10 YR 3/1) à l'état frais ; sable limoneux à limon sableux ; abondantes quantités de matière organique en décomposition mélangée avec du sol minéral ; tendre ; faiblement polyédrique subangulaire ; réseau de peu nombreuses fines racines ; limite distincte à graduelle.

A1 3-12 cm : Brun foncé (10 YR 3/4) à l'état frais ; sable limoneux ; faiblement polyédrique subangulaire ; friable ; peu nombreuses racines fines et moyennes ; nombreux pores interstitiels fins et moyens ; limite graduelle régulière.

A3 12-20 cm : Brun rougeâtre foncé (5 YR 3/4) à l'état frais ; sable limoneux ; faiblement polyédrique subangulaire ; friable ; peu nombreuses racines fines et moyennes ; nombreux pores fins et moyens ; limite graduelle régulière.

B1 20-39 cm : Rouge jaunâtre (5 YR 4/8) à l'état frais ; sable limoneux ; faiblement polyédrique subangulaire ; friable ; peu nombreuses racines fines et moyennes ; peu nombreuses grosses racines ; assez nombreux pores fins et moyens ; limite graduelle régulière.

B2 39-59 cm : Rouge jaunâtre (5 YR 5/6) à l'état frais ; limon sableux ; modérément polyédrique subangulaire ; friable à ferme ; très peu nombreuses racines fines et moyennes, peu nombreuses grosses racines ; assez nombreux pores fins et moyens ; limite graduelle régulière.

B21 59-94+ cm : Rouge jaunâtre (5 YR 5/8) à l'état frais ; limon sableux ; modérément polyédrique subangulaire ; friable ; assez nombreux pores interstitiels fins et moyens ; peu nombreuses grosses racines.

(c) Profil de la plantation de 1964

A0 0-5 cm : Noir (10 YR 2/1) à l'état frais ; limon sableux ; grumeleux ; nombreuses fines racines ; nombreux pores tubuleux et pertuis de vers de terre ; limite graduelle régulière.

A3 14-23 cm : Rouge sombre (10 R 3/2) à l'état frais ; sable ; meuble ; peu nombreuses fines, moyennes et grosses racines ; abondants pores interstitiels moyens ; limite graduelle régulière.

B1 23-39 cm : Rouge pâle (10 R 4/3) à l'état frais ; sable ; très faiblement polyédrique subangulaire ; très friable ; nombreuses fines racines, assez nombreuses moyennes et grosses racines ; assez nombreux pores fins et moyens ; limite graduelle régulière.

B2 39-57 cm : Rouge pâle (10 R 4/4) à l'état frais ; sable limoneux ; modérément polyédrique subangulaire ; peu nombreuses grosses racines ; nombreux pores fins et moyens ; limite graduelle régulière.

B2+ 57-84+ cm : Rouge (10 R 4/8) à l'état frais ; limon argilo-sableux ; modérément polyédrique subangulaire ; peu nombreuses fines et moyennes racines ; plages.

B. Omo-Ajebandele

I. Informations concernant la station

(a) Nom du profil : sols résiduels de la formation du socle cristallin (types Egbeda et Iwo).

(b) Unité supérieure de classification : luvisols ferriques.

(c) Date de la description : 21.11.78 au 23.11.78.

(d) Auteur de la description : E.O. Chijioke.

(e) Localisations : pour les plantations de 1966, les profils examinés étaient situés dans la zone d'Ajebandele, à droite de la principale route carrossable reliant Ijebu-Ode et Ore. Pour celles de 1973, ils étaient situés dans la plantation établie le long de la route forestière conduisant à la scierie d'Omo, à quelque 5 km de la bifurcation avec la grande route d'Ijebu à Ode-Ore. Les profils examinés dans la forêt naturelle étaient situés dans les zones de futaie adjacentes aux plus jeunes plantations et à environ 4,5 km de la scierie d'Omo.

(f) Altitude : généralement inférieure à 100 m au-dessus du niveau de la mer.

(g) Pente : 2-5 pour cent ; de quasi nulle à faible.

(h) Végétation : à l'origine futaie secondaire, d'âge probablement encore inférieur à un siècle.

II. Informations générales concernant le sol

(a) Roche-mère : socle cristallin non différencié avec des granits plus anciens et des roches cristallines intermédiaires.

(b) Drainage : modéré à normal.

(c) Etat hydrique du sol : profil humide jusqu'à plus d'un mètre de profondeur.

(d) Presence de cailloux en surface : assez nombreux, mais non abondants.

(e) Manifestations de l'érosion : généralement faibles dans la zone.

(f) Influence humaine : excepté les traces d'activité agricole notées lors de l'établissement des plantations, il n'y a aucune influence sensible d'une activité humaine récente.

III. Brève description générale des profils

Les profils sont rouges jaunâtres à rougeâtres , profonds d'un tout petit peu plus d'un mètre jusqu'à la roche pourrie ; modérément drainés, avec des cailloux et concrétions de quartz à une concentration variable, et avec un manteau relativement épais de matière organique en décomposition (3 cm) dans les sols de la forêt naturelle.

IV. Description des horizons

(a) Profil de la forêt naturelle

A0/A1 0-12 cm : Noir (10 YR 2/1) à l'état frais; limon sableux; friable ; faiblement polyédrique subangulaire ; abondantes racines fines et moyennes ; assez nombreux pores fins et tubuleux ; limite graduelle à distincte.

A3 12 -23 cm : Brun (7,5 YR 5/4) à l'état frais ; limon argilo-sableux ; modérément polyédrique subangulaire ; assez nombreuses racines fines et moyennes ; assez nombreux pores fins mais peu nombreux pores moyens ; assez nombreuses concrétions de Fe-Mn et graviers de quartz ; limite graduelle à distincte.

B1Cn 23-45 cm : Brun (7,5 YR 5/4) à l'état frais ; limon ; modérément polyédrique subangulaire ; ferme ; peu nombreuses racines fines et moyennes ; peu nombreux pores interstitiels fins, les pores interstitiels étant toutefois assez nombreux ; abondantes concrétions (Fe-Mn) ; cutans en tâches sur les unités structurales ; limite graduelle régulière.

B2tcn 45-65 cm : Brun vif (7,5 YR 5/6) à l'état frais ; argile ; modérément polyédrique subangulaire ; ferme ; abondantes concrétions de Fe-Mn ; peu nombreuses racines fines et moyennes ; assez nombreux pores fins et moyens ; cutans en tâches sur les unités structurales augmentant avec la profondeur ; limite graduelle régulière.

B2tcn 65-90/95 cm : Jaune rougeâtre (7,5 YR 6/6) à l'état frais ; argile ; modérément polyédrique subangulaire ; abondantes concrétions de Fe-Mn ; très peu nombreuses fines racines ; peu nombreux pores fins et assez nombreux pores moyens ; cutans minces en tâches ; limite graduelle à distincte.

C 90/95+ cm : Jaune rougeâtre (7,5 YR 6/6) ; argile ; massive et diversement panachée.

(b) Profil de la plantation de 1973

AO 0-5 cm : Brun foncé (7,5 YR 3/2) à l'état frais ; sable limoneux ; friable ; structure faible grumeleuse ; nombreuses fines racines ; assez nombreux pores fins et tubuleux, verticaux et obliques ; limite graduelle régulière.

A1 5-10 cm : Brun rougeâtre (5 YR 4/3) à l'état frais ; sable limoneux ; friable faiblement polyédrique subangulaire ; nombreuses fines racines, assez nombreuses racines moyennes ; assez nombreux pores fins et moyens ; limite graduelle régulière.

A3 10-17 cm : Brun rougeâtre (5 YR 4/3) à l'état frais ; limon sableux ; faiblement à modérément polyédrique subangulaire ; nombreux pores moyens et gros ainsi qu'interstices ; nombreuses racines fines et moyennes mais peu nombreuses grosses racines ; limite graduelle à distincte.

B1cn 17-29 cm : Brun rougeâtre (5 YR 5/4) à l'état frais ; limon argilo-sableux ; structure moyenne, finement à moyennement polyédrique subangulaire ; nombreuses racines fines et moyennes, peu nombreuses à assez nombreuses grosses racines ; abondantes concrétions de Fe-Mn ; limite graduelle régulière.

B2tcn 29-60 cm : Rouge jaunâtre (5 YR 5/6) à l'état frais ; argile sableuse ; modérément polyédrique subangulaire ; ferme ; présence assez fréquente de plinthites présentant des panachures rougeâtres ; très nombreux revêtements argileux à la surface des unités structurales ; racines peu nombreuses et pores assez nombreux ; limite graduelle régulière.

B3tcn 60-95 cm : Jaune rougeâtre (5 YR 6/6) à l'état frais ; argile sableuse graveleuse ; assez fortement polyédrique subangulaire ; très ferme ; assez nombreux gros cailloux de quarts (5-7 cm) et nombreuses concrétions de Fe-Mn avec des revêtements argileux brisés à la surface des unités structurales ; peu nombreuses fines racines ; peu nombreux larges pores ; limite graduelle à distincte.

C 95+ cm : Jaune rougeâtre (5 YR 6/6) ; roche pourrie ; massive.

(c) Profil de la plantation de 1966

AO 0-5 cm : Brun rougeâtre foncé (5 YR 3/2) à l'état frais ; limon sableux ; friable ; grumeleux ; nombreuses fines racines formant une sorte de feutre lâche ; nombreuses racines moyennes et peu nombreuses grosses racines ; nombreux pores fins et moyens ; limite graduelle régulière.

A1 5-9 cm : Brun rougeâtre foncé (5 YR 3/3) à l'état frais ; limon sableux ; faiblement polyédrique subangulaire ; friable ; peu nombreux cailloux de quartz et de Fe-Mn ; nombreuses racines fines et moyennes mais peu nombreuses grosses racines ; peu nombreux cailloux de quartz ferruginisés (à peu près 15 cm de diamètre) ; limite graduelle régulière.

A3 9-15 cm : Rouge jaunâtre (5 YR 4/6) à l'état frais; limon sableux ; structure moyenne, moyennement polyédrique subangulaire ; assez ferme ; nombreux pores fins et moyens ; gros cailloux de quartz ferruginisés et blocs de quarzite ; graviers abondants ; limite graduelle à distincte.

B1 15-35 cm : Rouge jaunâtre (5 YR 4/6) à l'état frais; limon sableux ; modérément polyédrique subangulaire ; assez ferme, exagérément collant ; peu nombreuses racines fines et moyennes ; nombreux pores fins et moyens ; concentrations de graviers de quartz et de Fe-Mn, gros morceaux de quartzite et de cailloux de quartz ferruginisés ; limite graduelle régulière.

B2tcn 35-60 cm : Brun rougeâtre (5 YR 4/4) ; argile sableuse ; structure moyenne moyennement polyédrique subangulaire ; assez ferme et collant ; abondantes quantités de revêtements argileux à la surface des unités structurales et lacunes contenant des morceaux de gravier ; peu nombreuses fines racines et pores ; morceaux de blocs de quartzite ; limite graduelle à distincte.

B3 tcn 60-95 cm : Rouge jaunâtre (5 YR 5/6) à l'état frais ; argile ; modérément polyédrique subangulaire ; ferme, collant ; épais revêtements argileux à la surface des unités structurales, concrétions et mouchetures plus petites et plus tendres de minéraux feldspathiques in situ ; limite graduelle à distincte.

C 95+ cm : Roche pourrie, massive.

BRESIL

A. Pacanari

I. Informations concernant la station

(a) Nom du profil : sols podzoliques rouges-jaunes.

(b) Unité supérieure de classification : nitosols dystriques.

(c) Date de la description : 6.2.79 - 8.2.79.

(d) Auteur de la description : E.O. Chijioke.

(e) Localisation : les profils examinés dans les plantations étaient proches de la CPI 399 (placette d'échantillonnage permanente dans les plantations de Jari. Les profils qui ont été examinés dans la forêt naturelle se trouvaient à 2 km au sud des précédents.

(f) Altitude : 160 mètres au-dessus du niveau de la mer.

(g) Pente : 1-2 pour cent.

(h) Géomorphologie : terrain plat à faiblement ondulé. Profils distribués au hasard à l'intérieur de la plantation.

(i) Végétation : de type Cerrado tel que décrit plus loin pour São Miguel (p. 53). .

II. Informations générales concernant le sol

(a) Roche-mère : schistes argileux dévoniens (et siluriens)

(b) Drainage : assez normal à imparfait.

(c) Etat hydrique du sol : profil généralement humide sur toute son épaisseur.

(d) Profondeur de la nappe phréatique : à une distance non mesurable.

(e) Manifestations de l'érosion : légères à insignifiantes.

(f) Influence humaine : négligeable.

III. Brève description générale des profils

(a) Dans les plantations de Gmelina, les profils sont profonds, bruns foncés et compacts, mais avec une très faible différenciation des horizons, avec des "îles" de cailloux de concrétion et une quantité abondante de racines dans les 70 cm superficiels.

(b) Dans la forêt naturelle, on trouve des sols bruns foncés de concrétion, humides, dans les couches superficielles ; ils deviennent progressivement d'un brun jaunâtre, avec des concrétions denses, mais plus secs dans le sous-sol.

IV. Description des horizons

(a) Profil de la forêt naturelle

A0+h 0-5 cm : Brun très foncé (10 YR 2/2) à l'état frais ; limon, avec une couche de fines racines enchevêtrées mélangées avec du sol minéral ; friable ; poreux ; limite distincte.

A1 5-15 cm : Brun rougeâtre (5 YR 4/4) à l'état frais ; argile ; structure fine, faiblement polyédrique subangulaire ; friable ; nombreuses fines racines et peu nombreuses grosses racines ; nombreux pores verticaux et obliques, peu nombreux pertuis de racines mortes ; limite distincte régulière.

A3 15-25 cm : Rouge jaunâtre (5 YR 4/6) à l'état frais ; argile ; structure polyédrique subangulaire moyennement forte ; peu dur ; nombreuses fines racines et peu nombreuses grosses racines ; abondantes concrétions de Fe-Mn distribuées assez uniformément dans l'horizon ; nombreux pores moyens obliques et verticaux ; limite abrupte à distincte.

B1cn 25-61 cm : Rouge jaunâtre (5 YR 4/6) à l'état frais ; argile ; modérément polyédrique subangulaire ; peu dur ; plus de 50 % de concrétions de Fe-Mn non consolidées ; cutans discontinus à la surface des unités structurales et vides occupées par des concrétions ; assez nombreuses racines moyennes et fines ; limite distincte à abrupte.

B2cn 61-105 cm : Jaune rougeâtre (5 YR 6/8) à l'état frais ; argile ; polyédrique subangulaire à angulaire ; plus de 65 % de dépôts de concrétions, en parties durcies ; très peu nombreuses fines racines et pas de grosses racines.

(b) Profil de la plantation de Gmelina arborea de 1973

A0/A1 0-8 cm : Brun grisâtre très foncé (10 YR 3/2) à l'état frais ; argile limoneuse ; grumeleux ; friable ; nombreuses racines fines et moyennes ; nombreux pores fins et moyens ; cailloux de concrétion isolés par endroits ; limite distincte régulière.

A3 8-18 cm : Brun (10 YR 4/3) à l'état frais ; argile limoneuse ; faiblement polyédrique subangulaire ; friable ; nombreux pores fins et assez nombreux pores moyens ; nombreuses fines racines, nombreux pores latéraux et pertuis radiculaires ; limite distincte régulière.

B1 18-30 cm : Brun (10 YR 4/3) à l'état frais ; argile limoneuse ; moyennement polyédrique subangulaire ; revêtements opaques non collants, peu plastiques à la surface des unités structurales ; racines moyennes et fines, peu nombreuses grosses racines mortes laissant de gros pertuis horizontaux ; couches brisées et non continues de concrétions de Fe-Mn (tendres) ; limite graduelle régulière.

B21 30-65 cm : (10 YR 4/3) à l'état frais ; argile limoneuse ; assez fortement polyédrique subangulaire ; peu dur ; peu nombreuses racines mortes latérales ; peu nombreux pores obliques ; limite graduelle régulière.

B22 65-101+ cm : Brun (10 YR 4/3) à l'état frais ; argile limoneuse ; fortement polyédrique subangulaire ; peu dur ; peu nombreuses grosses racines et assez nombreuses fines racines ; peu nombreuses concrétions arrondies de grès ferrugineux dans des endroits dispersés.

B. São Miguel

I. Informations concernant la station

(a) Nom du profil : sables rouges-jaunes.

(b) Unité supérieure de classification : arénosols ferraliques.

(c) Date de la description : 30.1.79 à 31.1.79

(d) Auteur de la description : F.O. Chijioke et Ottavio Nuneslopes.

(e) Localisation : les profils examinés dans les plantations de pin et de *Gmelina* de 1973 étaient situés à proximité des placettes d'échantillonnage permanentes ; dans les forêts naturelles, ils se trouvaient le long de la route conduisant au camp de travailleurs de São Miguel; Dans le cas des plantations de pins, les sols examinés se trouvaient à proximité de la C.P.I. 506 et, dans celui des plantations de *Gmelina*, à proximité d'une autre placette C.P.I., 2 km avant les profils sous pin, mais du côté opposé de la route. Les sols de forêt naturelle examinés se trouvaient dans la zone de forêt naturelle, 1 km avant la parcelle de *Gmelina* et du même côté de la route.

(f) Altitude : 200 m au-dessus du niveau de la mer.

(g) Géomorphologie : i) sur toute la succession des pentes naturelles ; ii) faiblement ondulée à ondulée ; iii) pas de microtopographie très discernable.

(h) Pente : 2-4 pour cent.

(i) Végétation et utilisation du sol : à l'origine, types forestiers. Les rapports et observations indiquent que la végétation était du type appelé Cerrado - caractérisé par des arbres à silhouette contournée, avec de grandes feuilles rarement caduques, ainsi que par des formes biologiques bien adaptées à des sols infertiles, profonds et rendus toxiques par l'aluminium. Ces forêts ont été défrichées et abattues et converties en plantations de pins dans les zones sableuses et en plantations de *Gmelina* dans les zones à composition granulométrique moyenne.

(j) Climat : les précipitations annuelles moyennes dans la zone de São Miguel sont de l'ordre de 2 210 mm, répartis sur 7-8 mois pluvieux et 4-5 mois assez secs. Température moyenne : maximum 36°C et minimum 12°C.

II. Informations générales concernant le sol

(a) Roche-mère : appartenant manifestement à la formation de Barreiras d'origine tertiaire et constituée de grès fin, et très fin, et de roches argileuses kaoliniti-ques avec des loupes de conglomérats et de gravier mêlé de gros sable, friable à légèrement consolidé.

(b) Drainage : généralement normal à excessif.

(c) Etat hydrique du sol : dans les profils beaucoup plus sableux de la plantation de pins, les 30 cm superficiels sont assez humides, puis le sol devient beaucoup plus sec au-dessous de ce niveau ; le profil à granulométrie plus fine trouvé sous les plantations de Gmelina est modérément humide sur toute son épaisseur. Sauf sur les 10 cm superficiels, le profil de la forêt naturelle est relativement sec sur toute son épaisseur.

(d) Profondeur de la nappe phréatique : se trouve à une distance non mesurable, mais de plus de 5 mètres.

(e) Présence de cailloux en surface : localisée.

(f) Manifestations de l'érosion : généralement tout à fait évidentes là où la pente est supérieure à 5 pour cent, et pouvant présenter un danger sur les pentes abruptes. L'effet est très réduit dans les zones plantées et,sur quelques emplacements, tout à fait insignifiant.

(g) Influence humaine : assez négligeable.

III. Brève description générale des profils

(a) Le sol de la forêt naturelle est sableux, brun jaunâtre, foncé et légèrement humide dans l'horizon supérieur, mais plus sec et d'une couleur plus vive dans le sous-sol, avec quelques concrétions ferrugineuses par endroits le long du profil.

(b) Dans les plantations de Gmelina, il y a peu de différenciation des horizons; sol brun foncé à brun ; matériel beaucoup plus fin que dans les plantations de pins, avec un horizon assez humide reposant sur sous-sol sec.

(c) Dans les plantations de pins , un horizon supérieur foncé tâcheté, surmonté par un épais tapis d'aiguilles de pins en décomposition, et suivi d'une couche de 10-15 cm de sable meuble blanc grisâtre reposant sur un sous-sol sableux plus jaune et un peu plus consolidé descendant jusqu'à une profondeur de 1 m ou plus.

IV. Description des horizons

(a) Profil de la forêt naturelle

AO 0-6 cm : Brun, brun foncé (7,5 YR 4/2) à l'état frais ; limon sableux ; grumeleux ; friable ; abondantes quantités de matière organique fraîche et en décomposition ; tapis épais de racines fines et moyennes ; nombreux pores moyens et fins ; limite graduelle à distincte.

A3 6-13 cm : Brun (7,5 YR 5/4) à l'état frais ; limon argilo-sableux ; faiblement polyédrique subangulaire ; friable ; nombreuses racines fines et moyennes ; nombreux pores fins et moyens ; limite graduelle régulière.

B1 13-27 cm : Brun (7,5 YR 5/4) à l'état frais ; limon argilo-sableux ; faiblement polyédrique subangulaire ; friable ; nombreuses racines fines et moyennes ; nombreux pores fins et moyens ; revêtements argileux en tâches mais opaques sur les unités structurales ; limite graduelle régulière.

B21 27-50 cm : Brun vif à brun rougeâtre (7,5 YR 5/8, 6/8) ; limon argileux à argile sableuse ; fortement polyédrique subangulaire ; peu collant et plastique ; peu nombreuses fines racines et peu nombreux gros pores ; "îles" isolées de concrétions de Fe-Mn ; peu nombreux pores fins ; limite graduelle régulière.

B22 50-95 cm : Brun vif à brun rougeâtre (7,5 YR 5/8, 6/8) ; limon argileux à argile sableuse ; fortement polyédrique angulaire ; peu nombreuses racines moyennes mais assez nombreuses grosses racines ; divers pores obliques et verticaux ; quelques "îles" de concrétions de Fe-Mn.

(b) Plantation de Gmelina de 1972

A1 0-7 cm : Brun à brun foncé (7,5 YR 4/2) à l'état frais ; limon sableux fin ; faiblement polyédrique subangulaire ; friable ; nombreuses fines racines ; peu nombreuses racines moyennes ; nombreux morceaux de charbon ; nombreux pore fins ; limite graduelle régulière.

A3 7-16 cm : Brun (7,5 YR 5/4) ; limon argilo-sableux fin ; faiblement polyédrique subangulaire ; friable ; nombreux pores fins et moyens ; nombreuses racines fines et moyennes, peu nombreuses racines mortes ; quelques "îlots" foncés de matière organique déposée ; limite graduelle régulière.

B1 16-29 cm : Brun (7,5 YR 5/4) à l'état frais ; limon argilo-sableux fin ; assez fortement polyédrique subangulaire ; peu dur ; nombreux pores moyens obliques ; peu nombreuses racines mortes, peu nombreuses fines racines et assez nombreuses grosses racines ; peu nombreux vides et pertuis de grosses racines ; limite graduelle régulière.

B21 29-69 cm : Brun (7,5 YR 5/4) à l'état frais ; limon argileux ; fortement polyédrique subangulaire ; dur ; assez nombreuses racines fines et moyennes, peu nombreuses racines mortes ; nombreux pores obliques et latéraux ; peu nombreuses "îles" de sable blanc par places ; limite graduelle régulière.

B22 69-110+ cm : Brun (7,5 YR 5/4) à l'état frais ; limon argilo-sableux fin ; fortement polyédrique subangulaire ; dur ; peu nombreuses fines racines et assez nombreuses racines moyennes ; nombreux pores fins verticaux et assez nombreux pores moyens mais obliques ; pas de cutans, pas de panachures.

(c) Profil de la plantation de Pinus caribaea de 1973

A_{L+H} 0-7 cm : Principalement litière de grosses aiguilles de pins, mélangée à du sable meuble ; brun clair (7,5 YR 6/4) à l'état frais ; tâcheté de sable blanc ; nombreuses fines racines ; morceaux de charbon ; nombreux pores verticaux et obliques ; limite graduelle régulière.

A3 7-17 cm : Brun clair (7,5 YR 6/4) à l'état frais ; tâchetures de sable blanc ; non structuré à très faiblement polyédrique subangulaire ; nombreuses racines fines et moyennes ; "îlots" foncés de matière organique accumulée ; limite graduelle régulière.

B1 17-30 cm : Brun (7,5 YR 5/4) à l'état frais ; sable ; faiblement polyédrique subangulaire ; friable ; tâches noires de matière organique accumulée ; nombreuses racines fines et moyennes ; nombreux pores, nombreux pertuis latéraux de vers de terre et de racines ; surfaces foncées opaques de matière probablement organique cimentant les grains de sable en cutans. Limite graduelle régulière.

B21 30-66 cm : Brun vif (7,5 YR 5/6) à l'état frais ; sable limoneux ; friable ; fortement polyédrique subangulaire ; peu nombreuses fines racines ; assez nombreuses grosses racines, pertuis de racines mortes et vides ; nombreux pores fins et assez nombreux pores larges; limite graduelle à distincte.

un type de sol donné. L'auteur du présent document a signalé des zones qui exigent beaucoup plus d'attention. Il ne fait pas de doute que les pays et organisations qui investissent des fonds importants dans des projets de ce type accueilleraient avec satisfaction l'idée d'entreprendre des études de longue durée dans le but d' assurer une productivité soutenue d'une révolution à l'autre.

Etant donné les besoins en personnel et en équipement (souvent difficile à se procurer et onéreux), il est impératif qu'un programme de ce type soit centralement coordonné. Il pourrait être nécessaire d'établir des stations extérieures dans d'importantes zones de plantation situées sous les tropiques, la mise en commun des informations et leur diffusion étant assurées par un organe central.

Les observations ci-après ont été faites par l'auteur du présent document au cours de ses tournées sur le terrain et elles font ressortir la nécessité de mettre en place ce projet sur une base permanente.

1) Le problème de la mort soudaine dans les plantations de Gmelina

Il se pose dans la zone de Nsukka au Nigeria, ainsi qu'en Sierra Leone et au Brésil.

a) Au Nigeria, on a signalé que les feuilles des jeunes arbres âgés de 3 à 4 ans jaunissent et que les sujets meurent pendant la saison des pluies, époque à laquelle leur feuillage devrait être pleinement épanoui. Les causes possibles sont nombreuses mais, en l'absence d'une étude convenable, il est impossible d'évaluer le problème qui, selon son ampleur, pourrait devenir d'importance économique.

b) Il y a eu des cas de mort soudaine d'arbres ayant atteint la hauteur de la découpe marchande en Sierra Leone (Vincent, 1978) et on en est encore réduit à des suppositions quant à leur cause. Il a été suggéré que ces pertes pourraient être dues à l'attaque par des champignons ou à une mauvaise structure du sous-sol. Il est probable que personne n'a étudié l'équilibre nutritif des arbres (y compris les micro-éléments) ni tenté de déterminer les doses optimales et/ou létales de certains éléments. Ces questions demandent encore à être résolues.

c) Les fourmis rouges Atta spp. ont été accusées de la mort soudaine de Gmelina dans la zone de Jari. S'il est vrai que les fourmis endommagent beaucoup le feuillage, un examen plus attentif a permis de constater que certaines branches s'étaient desséchées et étaient mortes sans avoir été défeuillées. Gmelina est une plante si résiliente qu'elle peut supporter jusqu'à l'enlèvement du bourgeon terminal. On sait également que le criquet Zonocerus variegatus cause des dégâts importants au feuillage et à l'écorce de Gmelina au Nigeria, mais même dans ce cas, les arbres se remettent de ces attaques une fois le ravageur éliminé. Il est possible que les fourmis Atta soient les vecteurs de ravageurs secondaires, par exemple des virus, auquel cas il n'y aurait pas lieu de les rendre seules responsables du dépérissement. Des études plus approfondies s'imposent.

2) Pinus caribaea

a) Une méthode spéciale d'aménagement des plantations de pins utilisée au Brésil et au Surinam aura probablement des répercussions sensibles sur l'entretien des sols. Des cultures fourragères, légumineuses dans certains cas, destinées au pâturage du bétail, à raison de jusqu'à 35 vaches/ha, sont établies sur le même terrain que les plantations. Il sera nécessaire d'évaluer les effets du pâturage du bétail sur les caractéristiques physiques et chimiques des sols et l'influence de cultures telles que les légumineuses sur le taux de minéralisation de la litière de pins.

b) On a constaté au Surinam que le bulldozage pendant la construction d'andains a des effets désastreux pour l'implantation des pins. Il faudrait étudier de meilleures méthodes d'établissement des plantations.

3) Utilisation de machines lourdes

On étudie actuellement au Jari l'influence du matériel forestier lourd, par exemple les engins utilisés pour l'exploitation et la préparation du terrain. Comme il a été dit dans le présent rapport, la gravité des effets des machines lourdes sur les propriétés physiques du sol est conditionnée par la texture de celui-ci. Des recherches devraient être entreprises dans toutes les zones où l'on utilise du matériel de ce type et il faudrait formuler des recommandations quant aux dimensions maximales des machines que peut porter le terrain sans conséquences graves.

Besoins en personnel

Les recherches dans ces divers domaines revêtent un caractère assez spécialisé et la recommandation tendant à l'établissement de procédures d'évaluation des sols à l'usage des exploitants forestiers peut ne pas sembler d'un intérêt immédiat pour leurs opérations. Le type de programme de recherche intégrée de longue durée préconisé ici nécessite les services de spécialistes en microbiologie du sol, en physique du sol, en nutrition des plantes et du sol, en sylviculture, en économie forestière, en pathologie et en entomologie forestières. Il ne fait pas de doute que leurs conclusions devraient fournir la réponse à plusieurs questions soulevées par ce type d'aménagement forestier et permettre d'établir des plans d'aménagement appropriés pour les plantations de diverses essences à croissance rapide dans les basses-plaines tropicales humides.

Fonctions (résumé)

1) Phytopédologue : effectuer des études sur les cycles nutritifs, y compris les possibilités de fertilisation dans les plantations. Coordonner les études effectuées par d'autres spécialistes sur le processus de mobilisation des éléments nutritifs sous chaque type de peuplement artificiel.

2) Physicien pédologue : entreprendre et diriger des études dans les domaines liés à l'hydrologie, ainsi que des études sur l'écoulement et les bassins versants, et suivre l'évolution des caractéristiques physiques des sols sous différentes essences.

3) Spécialiste de la microbiologie du sol : entreprendre et diriger des études concernant l'influence de diverses espèces plantées sur la population, les modifications et l'activité de la population microbienne. L'influence des associations microbiennes sur la nutrition végétale sera également examinée.

4) Forestier : (possédant une solide expérience en matière de mesurage et /ou de sylviculture) : il sera chargé d'organiser et conduire (en collaboration avec d'autres chercheurs) des études sur les relations rendements/terrain, selon la combinaison de traitement appliquée, (par exemple espacement, éclaircies, etc.).

5) Economiste forestier : (spécialisé en statistiques) : estimer les coûts des opérations du projet. Préparer un bilan des recettes d'exploitation et des frais généraux de l'aménagement des plantations. Il collaborera aussi avec d'autres scientifiques à la planification du programme ainsi qu'à l'analyse des données résultant de leurs recherches.

6) Pathologiste et entomologiste forestiers : ils ne feront pas partie du personnel ordinaire du programme, mais seront cooptés chaque fois que nécessaire pour étudier les problèmes rencontrés dans leurs domaines de spécialisation. et donner des avis à ce sujet.

7) Trois techniciens expérimentés seront attachés à chacun des trois premiers spécialistes mentionnés, et un assistant forestier au quatrième. Ils seront engagés pour toute la durée du programme.

8) D'autres techniciens pourront être nécessaires de temps à autre pour le travail de terrain et de laboratoire et ils seront engagés en fonction des besoins.

9) Des services de secrétariat seront également nécessaires.

Pour réduire le coût de telles études, on propose que le projet soit rattaché à un organisme officiel de recherche ou à une université possédant une infrastructure et un personnel suffisants et se trouvant dans un pays où il existe de vastes plantations, si possible de diverses essences. Quel que soit l'organisme qui financera éventuellement le projet, il devrait affecter à celui-ci un membre de son personnel en qualité de coordonnateur-résident chargé (indépendamment de son travail de recherche) de faire régulièrement rapport au siège.

Lieu du projet

Etant donné les coûts de l'entreprise d'une telle étude sur une base à long terme, le projet devrait (comme on l'a dit plus haut) être rattaché à une université ou à un organisme de recherche existant, dans un pays où l'on effectue actuellement de gros investissements dans des plantations forestières. Viennent à l'esprit le Brésil, le Nigeria, le Liberia/Sierra Leone et le Suriname(qui se trouvent tous en Afrique ou en Amérique du Sud). On sait que l'EMBRAPA au Brésil effectue en ce moment des études analogues sur l'évolution des sols portant des pâturages et des cultures agricoles et cet organisme a offert de coopérer avec l'auteur du présent document lorsqu'il s'est rendu sur les lieux des études sur *Gmelina arborea*. Indépendamment de la zone de Jari, il existe au Brésil d'autres zones de plantations où il sera nécessaire de conduire des recherches.

Le Nigeria possède également de vastes plantations de diverses essences et une Université où il existe des départements bien établis de foresterie, d'agronomie et de biologie agricole. Ces départements, qui disposent d'un personnel excellent et possèdent la plus grande partie du matériel perfectionné nécessaire pour les études proposées, se livrent (pour le moment) à très peu de travaux de recherche par suite d'un blocage de crédits. On pourrait aussi trouver parmi eux la majorité du personnel nécessaire au projet. L'auteur est convaincu que la Faculté d'agriculture et de foresterie de l'Université d'Ibadan, où sont regroupés tous ces départements, serait bien adaptée pour accueillir un projet de ce type et serait désireuse de le faire. L'Université possède aussi un important centre de calcul électronique équipé d'un ordinateur IBM 370.

Le projet pourrait également être installé au Liberia, en Sierra Leone ou au Suriname, mais il serait difficile d'y trouver le personnel nécessaire. Si l'on procède par élimination, le Nigeria et le Brésil semblent les solutions les plus appropriées, le Nigeria ayant toutefois l'avantage de posséder déjà d'excellents moyens techniques outre le fait que toutes les unités coopérantes seraient situées au même endroit.

Coûts du projet (pour un projet basé à Ibadan, Nigeria)

A. Personnel

Personnel d'encadrement

1) Phytopédologue : A recruter. Il serait chargé non seulement des recherches dans son propre domaine mais aussi de la coordination du projet ; il lui incomberait également de rendre compte de l'administration du programme à l'organisme de financement.
50 000 x (3-5) = 150 000 - 250 000 $.

2) Autres cadres : Ils seraient choisis par cooptation au sein du personnel des départements de foresterie, d'agronomie et de biologie agricole ; ils recevraient à titre d'associés une rémunération minime (incitation) ne dépassant pas 2 000 dollars par an, pour une période de 3 à 5 ans pour commencer. On admet que le pathologiste et l'entomologiste ne consacreront au projet que la moitié de leur temps de travail.
5 x 2 000 x (3-5) = 30 000 - 50 000 $

Personnel technique

3) Trois techniciens et un assistant forestier à recruter à un taux de rémunération

légèrement supérieur (à titre d'incitation) au traitement qu'ils perçoivent au Nigeria (niveau 09).
4 x 6 600 x 3-5 = 79 300 - 132 000 $.

Personnel de secrétariat

4) Deux secrétaires/employés de bureau aux niveaux 08, 09 (échelle nigériane).
5 249 $ + 3 766 $ = 9 020 $.
9 020 $ x 3-5 = 27 060 - 45 100 $.

Main d'oeuvre occasionnelle

5) Besoins calculés sur la base des affectations suivantes : 10 personnes pour l'unité de sylviculture, 6 pour l'unité de la nutrition des sols et des plantes, 4 pour l'unité de la physique des sols, 2 pour l'unité de la microbiologie des sols ; moyenne annuelle de 2 jours de travail par semaine pendant 3 à 5 ans. Total : 2 288 journées-hommes/an au taux de rémunération fixé par le gouvernement du Nigeria, à savoir :
N3,00/journée-homme = N6864 = 10 400 $ x 3-5 = 31 200 - 52 000 $.

B. Equipement

La plus grande partie de l'équipement nécessaire pour une telle opération est actuellement disponible à l'Université d'Ibadan. Toutefois, il serait peut-être nécessaire d'acquérir quelques autres articles, par exemple four à soufflerie d'air chaud, bascules de terrain, incubateur et microscopes très puissants (mais non électroniques) pour les études microbiologiques, ainsi que quelques autres articles nécessaires sur le terrain. Le coût de l'ensemble est estimé à environ 25 000 $.

C. Matériel renouvelable

Produits chimiques, matériel en plastique (conteneurs et recouvrements),fournitures de bureau, verrerie et articles métalliques de laboratoire non disponibles dans les laboratoires des départements, ainsi que matériel pour la construction de lysimètres sur le terrain et pour les études hydrologiques. Pour une période de trois à cinq ans, le coût estimatif sera de 45 000 - 75 000 $.

D. Autres investissements initiaux

Afin de ne pas gêner les programmes normaux de recherches spécialisées de l'Université, il est proposé que le projet dispose de ses propres serres pour les expériences en milieu contrôlé, ainsi que de des propres moyens de transport pour les opérations sur le terrain :

Deux serres	=	50 000 $
Deux Land Rovers	=	24 000 $

plus 5 pour cent pour le coût d'amortissement et les frais de réparation des véhicules

= 1 200 $ par an

= 1 200 $ x (3-5) = 3 600 - 6 000 $

Total pour 3-5 ans = 77 600 - 80 000 $

E. Frais de déplacement

Le programme envisage des voyages et l'installation de stations extérieures auprès de projets entrepris par des gouvernements et des sociétés en dehors du Nigeria. Il conviendra de prévoir un supplément de 10 000 dollars par an pour les frais de déplacement. Soit pour 3-5 ans : 10 000 x 3-5 = 30 000 - 50 000 $.

On obtient ainsi pour une période de 3 à 5 ans de déroulement des activités un total général de : 501 160 - 769 100 $

Financement du projet

On suggère que la présente proposition de projet soit largement diffusée parmi les donateurs multilatéraux et bilatéraux qui s'intéressent à l'aménagement des plantations du type étudié, pour les inviter à contribuer à un programme qui est indiscutablement d'un grand intérêt. Plusieurs donateurs différents pourraient financer divers projets, par exemple un dans chacune des régions tropicales - Afrique, Asie et Amérique Latine.

Résumé

On espère que le projet proposé s'appuiera sur la méthodologie et sur les conclusions de la présente étude et d'autres études effectuées dans le même domaine, et qu'il permettra d'atteindre rapidement les objectifs souhaités. On parviendra de cette manière à assurer plusieurs révolutions de valeur économique et à maximiser les bénéfices procurés par les industries tributaires du bois des plantations.

ANNEXE 3

TABLEAUX

Voir pages suivantes 63-84

TABLEAU A.1: Données sur les plantations [1] et répartition des sols dans les zones visitées

Pays	Emplacement de la plantation	Type de sol	Classification approximative	Superficie (ha)	Essence	Date de l'inventaire	Utilisation projetée	Source des données
Nigeria	Etat de Bendel	Sables arides du Benin	Nitosols eutriques	7747	Gmelina arborea	1976	Bois de pâte Bois de sciage et d'industrie	Ball et Daniyan (1977)
				38169	autres [2] feuillus	1976	Bois de sciage	- do -
	Etat d'Ogun	Principalement type Iwo et Egbeda avec quelques depôts de pied de pente Apoma	Luvisols ferriques et Cambisols eutriques	6214 980	Gmelina arborea	1976	Bois de pâte Bois de sciage	Ball et Daniyan (1977)
				9486 16	autres feuillus	1976	Bois de sciage Expérimentale	- do -
					Pinus caribaea	1976		
Sierra Leone	Province orientale Kenema	Principalement sols ferralitiques	Ferrasols plinthiques	Moins de 2000	Gmelina arborea	1978/9	Bois de sciage Poteaux Bois d'oeuvre et d'industrie	Comm. pers.
	Bradford: Ribbi Chiefdom	Sols alluviaux	Fluvisols eutriques	Moins de 1000	Pinus caribaea	1978/9	Bois de sciage et d'export	Comm. pers.
Gambie	Division occidentale	Alluvion du terminal continental	Fluvisols thioniques	809	Gmelina arborea	1979	Bois de sciage Poteaux	R.J. McEwan Conservator of forests
Brésil	Jari Florestal	Sables rouges-jaunes et	Arénosols ferraliques	30487	Pinus caribaea	Févr. 1979	Bois de pâte	Yield and Records Div., Jari Florestal
		podzols rouges-jaunes	Nitosols dystriques	63390	Gmelina arborea		Bois de pâte	

TABLEAU A.1: (suite)

Pays	Emplacement la plantation	Type de sol	Classification approximative	Superficie (ha)	Essence	Date de l' inventaire	Utilisation projetée	Source des données
Suriname	Mapane	Principalement sols résiduals avec couche superficielle sableuse	Régosols	161	P. caribaea Feuillus	1978	Bois de sciage Bois de pâte	A.T. Vink, Surinam For. Surv. et
	Jodensavane (y compris Blakkawatra) Coesewijne	Principalement sols d'alluvions continentales décolorés à bruns	Arénosols albiques	4203 400	P. caribaea Feuillus	1978	- do -	Fraser et. al.
	Coesewijne		Arénosols ferraliques	3689 1508	P. caribaea Feuillus	1978	- do -	
	Perica		Régosols	10 700	P. caribaea Feuillus	1978	- do -	
Belize	Zone du Stan Creek	Sols altérés profonds sur biotites et mica	Luvisols chromiques et ferriques	819 1904	G. arborea P. caribaea	1978	Bois de sciage	E.O. Bradley, For. Ser. Belize

1/ Les chiffres présentés indiquent la superficie des plantations de diverses essences dans les zones étudiées du pays visité. Il ne rendent compte en aucune façon des superficies totales consacrées aux plantations forestières dans les differents pays.

2/ Les "autres feuillus" comprennent quelques essences exotiques telles que Tectona grandis et plusieurs essences indigènes d'une importance économique bien établie dont on installe actuellement des plantations.

TABLEAU A.2: Poids frais (kg) et degré d'humidité (%) de *Gmelina* et du pin (arbres individuels)

Emplacement géographique	Bois de fût + écorce		Bois de branche		Feuillage		Epoque de l'échantillonnage
	Poids frais	% d'hum.	Poids frais	% d'hum.	Poids frais	% d'hum	
Nigeria: Ubiaja	a 165	55	30	61	6	65	Oct-Nov.
Ugboha	b 182	59	31	59	11	72	
Gmelina 1973	c 221	60	26	75	14	70	
Nigeria: Ubiaja	a 240	51	58	55	10	63	Oct.
Udo Rest Hse.	b 312	58	69	56	12	61	
Gmelina 1964	c 338	62	59	60	11	74	
Nigeria:	a 243	36	31	42	9	59	Nov-Déc.
Omo-Ajebandele	b 275	45	28	47	12	62	
Gmelina 1973	c 291	39	29	49	10	71	
Nigeria:	a 333	43	32	49	5	56	Nov-Déc.
Omo-Ajebandele	b 419	48	40	50	9	55	
Gmelina 1966	c 481	47	43	54	6	66	
Brésil:	a 347	61	65	27	27	71	Févr.
Pacanari	b 394	66	56	25	26	74	
Gmelina 1973	c 417	65	54	11	22	83	
Brésil:	a 137	54	13	45	3	57	Jan-Févr.
São Miguel	b 167	58	16	49	6	64	
Gmelina 1973	c 221	53	15	50	5	65	
Brésil:	a 108	56	12	53	16	55	Jan-Fevr.
São Miguel	b 139	57	14	57	19	59	
Pin 1973	c 152	64	13	70	16	57	

a - arbre dominé
b - arbre moyen
c - arbre dominant

TABLE A.3: Poids frais et degré d'humidité moyens de *Gmelina* et du pin (erreur-type entre parenthèses)

Emplacement géographique	Bois de fût + écorce Poids frais kg	Bois de fût + écorce % d'hum	Bois de branche Poids frais kg	Bois de branche % d'hum.	Feuillage Poids frais kg	Feuillage % d'hum	Ecorce en % du bois de fût + écorce à l'état sec
Nigeria: Ubiaja Ugboha Gmelina 1973	189,0 (23,44)	58,0 (2,16)	29,0 (2,16)	65,0 (7,12)	10,3 (3,26)	69,0 (2,94)	6,12
Nigeria: Ubiaja Udo Rest Hse. Gmelina 1964	297,0 (41,45)	57,0 (4,55)	62,0 (4,96)	57,0 (2,16)	11,0 (0,82)	66,0 (5,72)	10,47
Nigeria: Omo-Ajebandele Gmelina 1973	270,0 (19,95)	40,0 (3,74)	29,3 (1,26)	46,0 (2,94)	10,3 (1,3)	64,0 (5,09)	6,2
Nigeria: Omo-Ajebandele Gmelina 1966	411,0 (60,68)	46,0 (2,16)	38,3 (4,64)	51,0 (2,16)	6,7 (1,70)	59,0 (4,97)	6,65
Brésil: Pacanari Gmelina 1973	386,0 (29,70)	64,0 (2,17)	58,3 (4,8)	21,0 (7,12)	25,0 (2,17)	76,0 (5,09)	10,66
Brésil: Sao Miguel Gmelina 1973	175,0 (34,75)	55,0 (2,17)	14,7 (1,25)	48,0 (2,16)	4,7 (1,2)	62,0 (3,56)	13,5
Brésil: Sao Miguel Pin 1973	133,0 (18,45)	59,0 (3,56)	13,0 (0,82)	60,0 (7,26)	17,0 (1,41)	57,0 (1,63)	12,9

TABLEAU A.4: Poids secs moyens des parties aériennes de *Gmelina* et du pin (kg/ha)

Emplacement géographique	Nombre moyen d'arbres à l'hectare	Bois de fût	Ecorce	Bois de branches	Feuillage	Total parties aériennes	Litière[1]	Litière de la forêt naturelle ha/an (forêts tropicales humides)	Epoque de l'echantillonnage
Nigeria: Ugboha Gmelina 1973	683	51 000	3 300	6 900	2 200	63 400	700		Oct-Nov.
Nigeria: Ubiaja Udo Rest House Gmelina 1964	667	76 400	8 900	17 800	2 500	105 600	800		Octobre
Nigeria: Omo-Ajebandele Gmelina 1973	754	114 400	7 600	11 900	2 800	136 700	1 900		Nov. Déc.
Nigeria: Omo-Ajebandele Gmelina 1966	702	145 440	10 300	13 200	1 900	170 500	1 700	7 170 (Hopkins, 1966)	Nov-Déc.
Brésil: Pacanari Gmelina 1973	639	79 300	9 500	29 400	3 800	122 000	13 500		Février
Brésil: São Miguel Gmelina 1973	633	43 200	6 700	4 900	1 100	55 900	22 700		Janv. Févr.
Brésil: São Miguel Pin 1973	981	46 800	6 900	5 100	7 200	66 000	64 700	111 350 (Golley et al. 1975)	Janv. Févr.

[1]/ Y compris la couverture vivante autre que les arbres

TA .U A.5 Teneur en éléments nutritifs de <u>Gmelina ar</u> en % du poids sec

acement phique	Age nées	Partie constituante	N	P		Ca	Mg	Mn	Texture du sol	Class cation du so	Total à excl. de
Nigeria :		Litière	0,89	0,11	0,55	0,21	0,25	363	limon	Nitosols	
		Feuillage	2,20	0,17	1,69	0,31	0,35	195	sableux	eutriques	4,72
Ubiaja	5,5	Bois de fût	0,15	0,01	0,48	0,05	0,06	103	à limon		0,75
		Ecorce	0,61	0,06	0,90	0,83	0,34	126	argilo-		
		Bois de branches	0,19	0,01	0,36	0,10	0,62	78	sableux		
		Litière	0,84	0,12	0,34	0,65	0,60	315	limon	Nitosols	
Ubiaja	14,5	Feuillage	1,28	0,27	0,36	0,96	0,72	161	sableux	eutriques	3,59
		Bois de fût	0,15	0,01	0,18	0,10	0,05	61	à limon		0,49
		Ecorce	0,26	0,03	0,35	0,88	0,16	88	argilo-		
		Bois de branches	0,20	0,02	0,17	0,14	0,08	65	sableux		
Ubiaja	Forêt nat.	Litière	1,99	0,10	1,34	0,39	0,52	582			
Omo-Ajebandele	5,5	Litière	1,55	0,11	1,88	0,40	0,43	181	limon	Luvisols	
		Feuillage	2,21	0,17	1,41	0,43	0,43	149	sableux	ferriques	4,65
		Bois de fût	0,23	0,03	0,73	0,41	0,02	8	à argile		1,42
		Ecorce	0,67	0,07	1,06	0,37	0,18	33	sableuse		
		Bois de branches	0,27	0,04	0,71	0,37	0,02	16			
Omo-Ajebandele	12,5	Litière	2,55	0,11	1,79	0,45	0,40	143	limon	Luvisols	
		Feuillage	2,05	0,17	1,84	0,64	0,43	102	sableux	ferriques	5,13
		Bois de fût	0,16	0,01	0,53	0,44	0,01	12	à argile		1,15
		Ecorce	0,44	0,04	0,71	0,69	0,12	11	sableuse		
		Bois de branches	0,43	0,07	0,96	0,38	0,06	13			
Omo-A de	Forêt nat	tière	8	0,08	03	0,5	39	8 5			

TABLEAU A.5 (suite)

Emplacement géographique	Age (années)	Partie constituante	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Texture du sol	Classification du sol	Total (à l'excl. de Mn)
Brésil :		Litière	1,02	0,31	0,12	0,87	0,22	62	Limon	Nitosols	
		Feuillage	2,51	0,30	0,74	0,71	0,30	50	argileux	dystriques	4,56
Pacanari	6	Bois de fût	0,15	0,04	0,15	0,02	0,03	-	à argile		0,39
		Ecorce	0,67	0,09	0,22	0,98	0,25	12	limoneuse		
		Bois de branches	0,25	0,05	0,15	0,17	0,06	-			
Pacanari	Forêt nat.	Litière	1,59	0,08	0,07	0,27	0,15	150			
		Litière	0,90	0,10	0,11	0,71	0,34	150	sable limon.	Arénosols	
São Miguel	6	Feuillage	2,18	0,31	0,89	0,34	0,37	75	limon	ferraliques	4,09
		Bois de fût	0,11	0,02	0,12	0,02	0,03	-	sableux à		0,30
		Ecorce	0,62	0,07	0,29	0,37	0,24	37	limon fin		
		Bois de branches	0,29	0,07	0,24	0,10	0,08	25			
São Miguel	Forêt nat.	Litière	1,00	0,07	0,09	0,31	0,13	175			

TABLEAU A.6 : Teneur en éléments nutritifs de Pinus Caribaea (en % du poids sec)

Emplacement géographique	Age (années)	Partie échantillonnée	N	P	K	Ca	Mg	Texture du sol	Classification du sol	To
Brésil:	**5-6**	Litière de pin	0,35	0,02	0,02	0,27	0,13	limon	Arénosols	
Sao Miguel		Feuillage	1,21	0,14	0,18	0,69	0,08	sableux	ferraliques	2,30
		Bois de fût	0,18	0,04	0,07	0,04	0,03	à sable		0,36
		Ecorce	0,21	0,02	0,01	0,09	0,02			
		Bois de branche	0,22	0,04	0,05	0,06	0,03			
Suriname	**5-6**	Feuillage	0,99	0,07	0,21	0,89	0,28	sable	Arénosols	2,44
Blakkawatra		Bois de fût	0,16	0,01	0,01	0,12	0,05		albiques	0,35
		Ecorce	0,23	0,01	0,14	0,14	0,05			
		Bois de branches	0,23	0,01	0,05	0,20	0,05			
Blakkawatra	**8-9**	Feuillage	1,05	0,06	0,33	0,54	0,13	sable	Arénosols	2,11
		Bois de fût	0,24	0,02	0,11	0,14	0,04	à limon	ferraliques	0,55
		Ecorce	0,14	0,01	0,01	0,08	0,03	sableux		
		Bois de branches	0,26	0,02	0,10	0,26	0,06			
Blakkawatra	**15-16**	Feuillage	0,98	0,07	0,62	0,46	0,09	sable	Arénosols	2,22
		Bois de fût	0,15	0,01	0,20	0,16	0,04	à limon	ferraliques	0,56
		Ecorce	0,17	0,01	0,10	0,10	0,04	sableux		
		Bois de branches	0,29	0,02	0,15	0,21	0,06			

TABLEAU A.7 Quantités d'éléments nutritifs contenues dans les parties constituantes des arbres (kg/ha)

Emplacement géographique	Essence	Age (années)	Texture du sol	Classif. approx. du sol	Parties constituantes des arbres	Azote kg/ha	Phosphore kg/ha	Potassium kg/ha	Calcium kg/ha	Magnésium kg/ha
Nigeria : Ubiaja	Gmelina arborea	5,5	Limon sableux à limon argilo-sableux	Nitosol eutrique	Quantité totale contenue dans les arbres	158	12	336	66	92
					Feuillage	48	4	37	7	8
					Bois de branches	13	1	25	7	43
					Ecorce	20	2	30	27	11
					Bois de fût	76	5	245	25	31
Nigeria : Ubiaja	Gmelina arborea	14,5	Limon sableux à limon argilo-sableux	Nitosol eutrique	Quantité totale contenue dans les arbres	205	21	208	204	85
					Feuillage	32	7	9	24	18
					Bois de branches	36	4	30	25	14
					Ecorce	23	3	31	79	14
					Bois de fût	115	8	138	76	38
Nigeria : Omo-Ajebandele	Gmelina arborea	5,5	Limon argilo-sableux à argile sableuse	Luvisol ferrique	Quantité totale contenue dans les arbres	408	49	1 039	553	51
					Feuillage	62	5	39	12	12
					Bois de branches	32	5	85	44	2
					Ecorce	51	5	80	28	14
					Bois de fût	263	34	835	469	23
Nigeria : Omo-Ajebandele	Gmelina arborea	12,5	Limon argilo-sableux à argile sableuse	Luvisol ferrique	Quantité totale contenue dans les arbres	374	31	1 006	774	43
					Feuillage	39	3	35	12	8
					Bois de branches	57	9	127	50	8
					Ecorce	45	4	73	71	12
					Bois de fût	233	15	771	640	15

TABLEAU A.7 (suite)

Emplacement géographique	Essence	Age (années)	Texture du sol	Classif. approx. du sol	Parties constituantes des arbres	Azote kg/ha	Phosphore kg/ha	Potassium kg/ha	Calcium kg/ha	Magnésium kg/ha
Brésil : Pacanari	Gmelina arborea	6	Limon argileux à argile limoneuse	Nitosol dystrique	Quantité totale contenue dans les arbres	352	63	208	185	79
					Feuillage	96	11	28	27	11
					Bois de branches	74	15	44	50	17
					Ecorce	63	9	21	92	24
					Bois de fût	119	29	115	16	27
Brésil : São Miguel	Gmelina arborea	6	Sable limoneux/ limon sableux à limon fin	Arénosol ferralique	Quantité totale contenue dans les arbres	128	22	93	42	39
					Feuillage	24	4	10	4	4
					Bois de branches	14	4	12	5	4
					Ecorce	42	5	19	25	16
					Bois de fût	48	9	52	9	15
Brésil : São Miguel	Pinus caribaea	6	Sable limoneux à limon sableux	Arénosol ferralique	Quantité totale contenue dans les arbres	197	33	46	78	25
					Feuillage	87	10	13	50	6
					Bois de branches	11	2	2	3	2
					Ecorce	15	2	1	6	1
					Bois de fût	84	19	30	19	16

TABLEAU A.8 : Propriétés physiques des sols - Nigeria

Emplacement géographique	Description de la parcelle	Echantillon No.	Profondeur du prélèvement	Sab	Lim	rès fin Argile totale
Nigeria : Ubiaja	Profil de la forêt naturelle	011 Ao/Ah	0-3	76,4	15,6	8,0
		010 A1	3-8	85,6	5,6	8,8
		009 A3	8-16	85,6	5,6	8,8
		007 B1	16-24	85,6	3,6	10,8
		008 B2	24-44+	67,6	1,6	30,8
	Ugboha 1973 Profil de la plantation de Gmelina	014 Ao/Ah	0-3	78,4	13,6	8,0
		105 A1	3-12	80,4	11,6	8,0
		013 A3	12-20	82,4	7,6	10,0
		016 B1	20-39	80,4	11,6	8,0
		017 B2	39-59	78,4	5,6	16,0
		012 B21	59-94+	76,4	5,6	18,0
	Udo Rest Hse. 1964 Profil de la plantation de Gmelina	023 Ao	0-5	80,4	11,6	8,0
		018 A1	5-14	88,4	3,6	8,0
		019 A3	14-23	92,4	1,6	6,0
		021 B1	23-39	90,4	1,6	8,0
		022 B2	39-57	84,4	3,6	12,0
		020 B2t	57-84	58,4	3,6	38,0
	Forêt naturelle Echantillon composé	025	0-10	82,0	7,6	10,4
		024	10-20	84,4	5,6	10,0
		026	20-40	84,0	3,6	12,4
	Ugboha 1973 Echantillon composé	004	0-10	81,6	9,6	8,8
		006	10-20	81,6	7,6	10,8
		001	20-40	83,6	5,6	10,8
	Udo Rest Hse. 1964 Echantillon composé	005	0-10	85,6	5,6	8,8
		003	10-20	89,6	1,6	8,8
		002	20-40	89,6	1,6	8,8

TABLEAU A.8 (suite)

Emplacement géographique	Description de la parcelle	Echantillon No.	Profondeur du prélèvement	Sable	Limon très fin	Argile totale
Nigéria : Omo-Ajebandele	Profil de la forêt naturelle	042 Ah+A1	0-12	78,0	9,6	12,4
		043 A3	12-23	58,0	9,6	32,4
		044 Bicn	23-45	50,0	27,6	22,4
		045 B2tcn	45-65	40,0	7,6	52,4
		046 B3tcn	65-90/95	36,0	7,6	56,4
		047 C	90/95+	38,0	14,4	47,6
	Profil de la plantation de Gmelina de 1973	048 Ah	0-5	80,0	10,4	9,6
		049 A1	5-10	80,0	10,4	9,6
		050 A3	10-17	76,0	6,4	17,6
		051 Bicn	17-29	58,0	10,4	31,6
		052 B2tcn	[illegible]-60	48,0	8,4	43,6
		053 B3tcn	60-95	42,0	6,4	51,6
		054 C	95+	38,0	8,4	53,6
	Profil de la plantation de Gmelina de 1966	036 Ah	0-5	68,0	19,6	12,4
		037 A1	5-9	74,0	11,6	14,4
		038 A3	9-15	68,0	19,6	12,4
		039 Bicn	15-35	70,0	9,6	20,4
		040 B2tcn	35-60	46,0	5,6	48,4
		041 B3tcn	60-95	42,0	5,6	52,4
	Forêt naturelle Echantillon composé	033	0-10	64,0	9,6	26,4
		034	10-20	60,0	7,6	32,4
		035	20-40	50,0	7,6	42,4
	Plantation de Gmelina de 1966 Echantillon composé	027	0-10	74,0	13,6	12,4
		028	10-20	64,0	7,6	28,4
		029	20-40	62,0	9,6	28,4
	1973 Echantillon composé	030	0-10	76,0	7,6	16,4
		031	1[illegible]-20	70,0	9,6	20,4
		032	20-40	66,0	9,6	24,4

TABLEAU A.8 (suite)

Emplacement géographique	Description de la parcelle	Ec on No.	Profondeur du prélèvement	Sab	mon trè	Argile totale
Nigeria:	1974	068	0-10	71,6	12,4	16,0
Omo -	Echantillon	069	10-20	73,6	14,4	12,0
Ajebandele	composé	070	20-40	77,6	10,4	12,0
	1975	065	0-10	68,0	12,4	19,6
	Echantillon	066	10-20	70,0	6,4	23,6
	composé	067	20-40	60,0	8,4	31,6
	1976	062	0-10	72,0	14,4	13,6
	Echantillon	063	10-20	72,0	10,4	17,6
	composé	064	20-40	64,0	10,4	25,6
	1977	059	0-10	70,0	10,4	19,6
	Echantillon	060	10-20	66,0	10,4	23,6
	composé	061	20-40	64,0	8,4	27,6
	1978	056	0-10	70,0	14,4	15,6
	Echantillon	057	10-[illegible]	66,0	10,4	23,6
	composé	058	20-40	62,0	8,4	29,6

TABLEAU A.9 : Propriétés physiques des sols - Brésil

lacement raphique	Description de la parcelle	Echantillon No.	Profondeur du prélèvement	Sable grossier	Sable fin	Limon très fin	Argile totale
Pacanari	Profil de la forêt naturelle	083 Ao/Ah	0-5	15	3	32	50
		084 A1	5-15	8	3	22	67
		085 A3	15-25	4	2	18	76
		086 IIB1tcn	25-65	3	1	18	78
		087IIB2tcn	65-105+	5	2	12	81
	Profil de la plantation de Gmelina de 1973	088 Ao/A1	0-8	19	9	28	44
		089 A3	8-18	12	6	13	69
		090 B1t	18-30	9	7	12	72
		091 B21t	30-65	9	6	14	71
		092 B22t	65-101+	10	7	14	69
	Forêt naturelle Echantillon composé	158	0-10	7	1	27	65
		159	10-20	5	1	23	71
		160	20-40	5	2	24	69
	Plantation de Gmelina de 1973 Echantillon composé	144	0-10	13	7	20	60
		145	10-20	11	7	21	61
		146	20-40	13	6	19	62
	Plantation de Gmelina de 1974 Echantillon composé	123	0-10	5	2	17	76
		124	10-20	4	2	18	76
		125	20-40	3	2	23	72
	Plantation de Gmelina de 1975 Echantillon composé	126	0-10	12	11	23	54
		127	10-20	8	9	26	57
		128	20-40	8	8	20	64
	Plantation de Gmelina de 1976 Echantillon composé	32	0-10	7	9	21	63
		33	10-20	6	8	23	63
		34	20-40	5	8	20	67

TABLEAU A.9 (suite)

Emplacement géographique	Description de la parcelle	Echantillon No.	Profondeur du prélèvement	Sable grossier	Sable fin	Limon très fin	Argile totale
Pacanari	Plantation de Gmelina de 1977 Echantillon composé	129	0-10	11	8	22	589
		130	10-20	9	7	22	62
		131	20-40	7	6	20	67
	Plantation de Gmelina de 1978 Echantillon composé	117	0-10	7	6	22	65
		118	10-20	6	6	18	70
		119	20-40	4	5	19	72
	Nettoyée et brûlée. Non plantée en 1979 Echantillon composé	141	0-10	10	4	20	66
		142	10-20	6	3	32	59
		143	20-40	7	3	22	68
	Zone à problèmes mort soudaine Echantillon composé	164	0-20	6	3	30	61
		165	20-40	4	3	25	68
Munguba	Sol indien Gmelina Echantillon composé	153	0-20	66	16	9	9
		154	20-40	65	14	10	11
		155	40-60	53	14	12	21
		156	60-80	43	14	12	31
		157	80-100	42	13	12	33

TABLEAU A.9 (suite)

Emplacement géographique	Description de la parcelle	Echantillon No.	Profondeur du prélèvement	Sable grossier	Sable fin	Limon très fin	Argile totale
São Miguel	Profil de la forêt naturelle	096 Ao/Ah	0-6	73	9	4	14
		097 A3	6-13	62	11	6	21
		098 B1	13-27	51	13	6	30
		099 B21	27-50	46	14	9	31
		100 B22	50-95	44	15	7	34
	Profil de la plantation de Gmelina de 1973	104 A1/Ao	0-7	63	13	5	19
		105 A3	7-16	51	15	6	28
		106 B1	16-29	47	14	7	32
		107 B21	29-69	43	15	7	35
		108 B22	69-110+	45	16	4	35
	Profil de la plantation de pin de 1973	109 AL+H	0-7	96	2	1	1
		110 A3	7-17	81	7	3	9
		111 B1	17-30	95	2	x	3
		112 B21	30-66	87	3	2	8
		113 B22	66-120+	84	5	1	10
	Forêt naturelle Echantillon composé	101	0-10	61	13	6	20
		102	10-20	51	14	8	27
		103	20-40	46	16	8	30
	Plantation de Gmelina de 1973 Echantillon composé	093	0-10	54	14	8	24
		094	10-20	44	17	9	30
		095	20-40	39	16	11	34

TABLEAU A.9 (suite)

Emplacement géographique	Description de la parcelle	Echantillon No.	Profondeur du prélèvement	Sable grossier	Sable fin	Limon très fin	Argile totale
São Miguel	Plantation de pins de 1973	150	0-10	91	4	x	5
	Echantillon	151	10-20	88	4	x	8
	composé	152	20-40	79	5	2	14
	Plantation de pins de 1974	114	0-10	94	2	1	2
	Echantillon	115	10-20	90	4	2	4
	composé	116	20-40	83	6	5	6
	Plantation de pins de 1976	120	0-10	90	3	2	5
	Echantillon	121	10-20	88	4	1	7
	composé	122	20-40	79	5	2	14
	Plantation de pins de 1977	161	0-10	85	4	4	7
	Echantillon	162	10-20	67	10	8	15
	composé	163	20-40	66	8	8	18
	Plantation de pins de 1978	138	0-10	77	7	4	12
	Echantillon	139	10-20	69	8	8	15
	composé	140	20-40	61	11	4	24
	Nettoyée et brûlée. Non	135	0-10	90	4	x	6
	plantée en 1979	136	10-20	76	6	5	13
	Ech. composé	137	20-40	77	6	3	14

TABLEAU A.10 : Analyse physique de profils représentatifs - Brésil

Référence de l'échantillon	Densité apparente	Densité des particules	% du volume Matériau solide	Porosité	% d'humidité	% d'air à l'état naturel	Texture
Pacanari Profil de la forêt nat.							
Horizon A	0,858	2,689	31,91	68,09	37,30	30,79	limon argileux à
Horizon B	0,935	2,815	33,21	66,79	37,00	29,79	argile limoneuse
Pacanari Profil Gmelina 1973							
Horizon A	1,173	2,766	42,41	57,59	46,50	11,09	limon argileux à
Horizon B	1,154	2,767	41,71	58,29	40,90	17,39	argile limoneuse
São Miguel Profil de la forêt nat.							
Horizon A	1,385	2,764	50,11	49,89	24,60	25,29	sable limoneux/limon
Horizon B	1,505	2,693	55,89	44,11	28,60	15,51	sableux à limon fin
Profil Gmelina '73							
Horizon A	1,366	2,872	47,56	52,44	24,00	28,44	sable limoneux/limon
Horizon B	1,376	2,767	49,73	50,27	19,30	10,97	sableux à limon fin
Profil pin '73							
Horizon A	1,458	2,854	51,09	48,91	4,60	44,31	sable limoneux/limon
Horizon B	1,427	2,852	50,04	49,96	13,40	36,56	sableux à limon fin

TABLEAU A.11 : Analyse h que de sols - Ni ria

Emplacement géographique	Description de la parcelle	Echantillon No.	Profond r de prélève ent cm	pH	Carbone organique %	% de N total	assimilab µg/g	Extract. à NH_4 µg/g Ca	Mg	Ma	K	Na	Acidité tota (Al + H) me/100 g
Nigeria:	Profil de la	011 Ao/Ah	0-3	5,7	2,33	0,247	7,2	1282	346	17	175	19	0,46
	forêt naturelle	010 A1	3-8	5,8	0,76	0,079	1,8	253	98	24	62	8	0,68
Ubiaja		009 A3	8-16	5,5	0,56	0,059	2,7	94	53	26	55	7	0,24
		007 B1	16-24	5,2	0,52	0,050	0,9	53	31	22	43	7	0,32
		008 B2	24-44	4,8	0,57	0,078	1,1	99	22	17	42	8	1,52
	Profil d'Ugboha	014 Ao/Ah	0-3	7,5	1,82	0,306	30,9	1772	157	5	55	19	0,50
	1973	015 A1	3-12	7,1	0,92	0,116	2,7	749	88	4	31	10	0,20
		013 A3	12-20	7,1	0,57	0,066	2,0	539	68	5	34	9	0,22
		016 B1	20-39	7,1	0,52	0,050	1,0	318	58	5	37	7	0,22
		017 B2	39-59	6,9	0,48	0,049	0,6	247	138	4	56	7	0,16
		012 B21	59-94+	5,7	0,38	0,041	4,2	205	26	18	55	8	0,30
	Profil	023 Ao	0-5	6,9	2,26	0,198	4,1	1454	283	7	37	17	0,24
	d'Udo Rest Hse.	018 A1	5-14	6,3	1,23	0,150	2,7	656	58	10	14	12	0,16
	1964	019 A3	14-23	6,2	0,70	0,094	0,7	251	58	17	7	8	0,32
		021 B1	23-39	6,0	0,65	0,066	0,9	263	35	15	9	10	0,14
		022 B2	39-57	5,2	0,58	0,066	1,2	111	23	17	7	8	0,40
		020 B2t	57-84+	4,8	0,76	0,091	2,1	117	22	9	6	8	1,34
	Forêt naturelle	025	0-10	5,4	1,13	0,125	2,3	284	93	36	38	8	0,38
	Echantillon	024	10-20	5,4	0,86	0,088	3,0	184	64	33	35	8	0,36
	composé	026	20-40	5,1	0,73	0,069	1,2	140	57	26	34	6	0,66
	Ugboha 1973	004	0-10	7,1	0,89	0,128	8,7	876	123	3	41	12	0,32
	Echantillon	006	10-20	7,0	0,74	0,093	4,4	590	105	3	47	9	0,44
	composé	001	20-40	6,5	0,41	0,069	2,4	359	86	7	58	11	0,50
	Udo Rest Hse. 1964	005	0-10	6,6	1,54	0,163	6,3	753	148	6	16	12	0,26
	Echantillon	003	10-20	5,6	0,73	0,103	1,4	214	47	14	8	7	0,12
	composé	002	20-40	5,3	0,55	0,075	0,9	328	23	21	7	7	0,10

TABLEAU A.11 (suite)

Emplacement géographique	Description de la parcelle	Echantillon No.	Profondeur du prélèvement cm	pH	Carbone organique	% de N total	P assimilable µg/g	Extract. à NH_4OH µg/g Ca	Mg	Ma	K	Na	Acidité totale (Al+H) me/100 g
Nigeria: Omo-Ajebandele	Profil de la forêt naturelle	042 Ah+A1	0-12	4,3	2,63	0,288	3,6	515	61	11	51	8	1,58
		043 A3	12-23	4,0	1,69	0,163	1,4	247	47	2	23	7	2,16
		044 B1cn	23-45	4,3	1,42	0,116	0,3	238	54	1	30	6	3,38
		045 B2tcn	45-65	4,3	1,13	0,094	0,1	178	36	1	41	7	3,66
		046 B2tcn	65-95	4,4	0,90	0,088	0,3	190	42	1	31	8	3,18
		047 C	90+	4,3	0,68	0,066	0,3	190	40	1	18	7	3,00
	Profil de la plantation de Gmelina de 1973	048	0-5	6,4	2,38	0,263	4,8	1778	209	9	37	12	0,36
		049	5-10	6,1	1,48	0,144	3,3	869	107	6	16	8	0,12
		050	10-17	5,5	1,01	0,094	1,3	512	68	2	14	8	0,64
		051	17-29	4,5	0,84	0,081	1,4	211	30	1	14	5	2,16
		052	29-60	4,1	0,79	0,084	0,5	205	41	1	25	5	2,94
		053	60-95	4,3	0,71	0,072	0,2	119	31	1	42	6	3,24
		054	95+	4,4	0,60	0,069	0,2	122	18	1	50	7	3,00
	Profil de la plantation de Gmelina de 1966	036 Ah	0-5	5,7	2,55	0,381	2,3	1353	268	7	75	14	1,12
		037 A1	5-9	6,1	1,81	0,181	1,4	576	121	3	35	8	0,38
		038 A3	9-15	4,5	1,20	0,125	0,9	278	63	2	23	8	1,26
		039 B1cn	15-35	4,4	1,04	0,103	0,3	149	44	1	23	8	2,14
		040 V2tcn	35-60	4,7	0,92	0,097	0,3	137	63	1	33	8	3,90
		041 B3tcn	60-95	4,5	0,92	0,102	1,1	122	62	1	28	8	3,78
	Forêt naturelle Echantillon composé	033	0-10	4,0	2,40	0,384	4,2	303	46	6	53	13	2,76
		034	10-20	4,1	1,54	0,234	1,2	175	57	3	50	9	2,92
		035	20-40	4,2	1,20	0,156	0,6	111	38	1	28	7	2,84
	1966 Echantillon composé	027	0-10	5,5	1,83	0,275	3,1	804	114	4	36	14	0,34
		028	10-20	4,8	1,27	0,194	1,0	449	53	3	33	15	1,10
		029	20-40	4,4	1,27	0,184	0,9	372	48	3	33	10	1,46
	1973 Echantillon composé	030	0-10	5,6	1,86	0,325	6,5	915	102	4	31	13	0,16
		031	10-20	5,3	1,52	0,266	3,6	760	84	6	30	12	0,20
		032	20-40	4,9	1,18	0,184	1,8	426	55	6	31	11	0,42
	1974 Echantillon composé	068	0-10	6,6	1,97	0,253	16,8	1358	146	6	48	17	0,42
		069	10-20	5,8	1,89	0,159	6,3	611	79	7	36	13	0,60
		070	20-40	6,1	1,44	0,135	3,9	576	79	7	40	13	0,86

TABLEAU A.11 (suite)

Emplacement géographique	Description de la parcelle	Echantillon No.	Profondeur du prélèvement cm	pH	Carbone organique	% de N total	P assimilable µg/g	Extract. à NH_4OH µg/g Ca	Mg	Ma	K	Na	Acidité totale (Al+H) me/100 g
	1975	065	0-10	6,1	2,12	0,234	10,9	1082	147	7	51	8	0,18
	Echantillon	066	10-20	5,5	1,84	0,173	5,1	611	99	7	43	12	0,14
	composé	067	20-40	5,6	1,44	0,144	5,7	621	115	8	46	12	0,24
	1976	062	0-10	6,5	1,26	0,181	9,5	930	142	8	62	8	0,18
	Echantillon	063	10-20	6,3	1,01	0,141	3,1	625	105	11	62	6	0,28
	composé	064	20-40	5,6	0,75	0,071	2,3	436	83	14	75	5	0,30
	1977	059	0-10	5,6	2,06	0,199	14,1	922	161	11	75	8	0,86
	Echantillon	060	10-20	4,5	1,42	0,128	7,3	287	60	12	45	5	1,04
	composé	061	20-40	4,5	1,06	0,094	1,7	226	65	10	46	4	0,90
	1978	056	0-10	6,3	2,38	0,284	36,3	1507	150	12	125	13	1,26
	Echantillon	057	10-20	5,6	1,36	0,156	7,5	553	76	23	75	8	0,80
	composé	058	20-40	5,0	1,17	0,120	2,0	349	76	22	55	7	0,74

TABLEAU A.12 : Analyse chimique de sols - Suriname

Emplacement géographique	Profondeur du prélèvement	pH	%C	% de N total	P assim.	Extraction à NH_4OA_c µg/g Ca	Mg	K	Na	CEC me/100g	Acidité totale (Al+H) me/100 g
Forêt naturelle I - Futaie	0-10	4,4	1,84	0,08	7,0	56	15,6	19,5	4,6	4,22	1,45
	10-20	4,6	1,37	0,09	4,8	10	8,4	19,5	6,9	3,69	1,69
	20-40	5,0	1,30	0,08	5,0	4,0	4,8	39,0	6,9	4,29	1,55
Forêt naturelle II - Basse futaie	0-10	4,4	1,38	0,08	6,2	10,0	51,6	23,4	6,9	3,40	0,07
	10-20	4,4	0,69	0,03	3,1	2,0	19,2	3,9	6,9	1,54	0
	20-40	5,0	0,10	0,01	1,1	2,0	3,6	3,9	4,6	0,32	0
Plant.de pin 1972	0-20	4,5	0,69	0,04	4,2	10,0	2,4	0	4,6	1,74	0,58
	20-40	4,5	1,17	0,07	6,7	20,0	8,4	39	6,9	2,69	0,70
Plant. de pin 1969/1970	0-20	4,6	1,54	0,11	3,9	60,0	15,6	15,6	6,9	4,79	1,46
	20-40	4,6	0,99	0,08	2,2	30,0	10,8	7,8	6,9	4,23	1,68
Plant. de pin 1964	0-10	4,6	1,60	0,11	4,8	6,0	13,2	27,3	4,6	4,85	1,60
	10-20	4,6	1,12	0,08	3,1	3,0	8,4	7,8	4,6	4,09	1,50
	20-40	5,0	0,98	0,06	2,8	50,0	10,8	0,0	6,9	3,94	1,61

ANNEXE 4

FIGURES

Voir pages suivantes 86-109

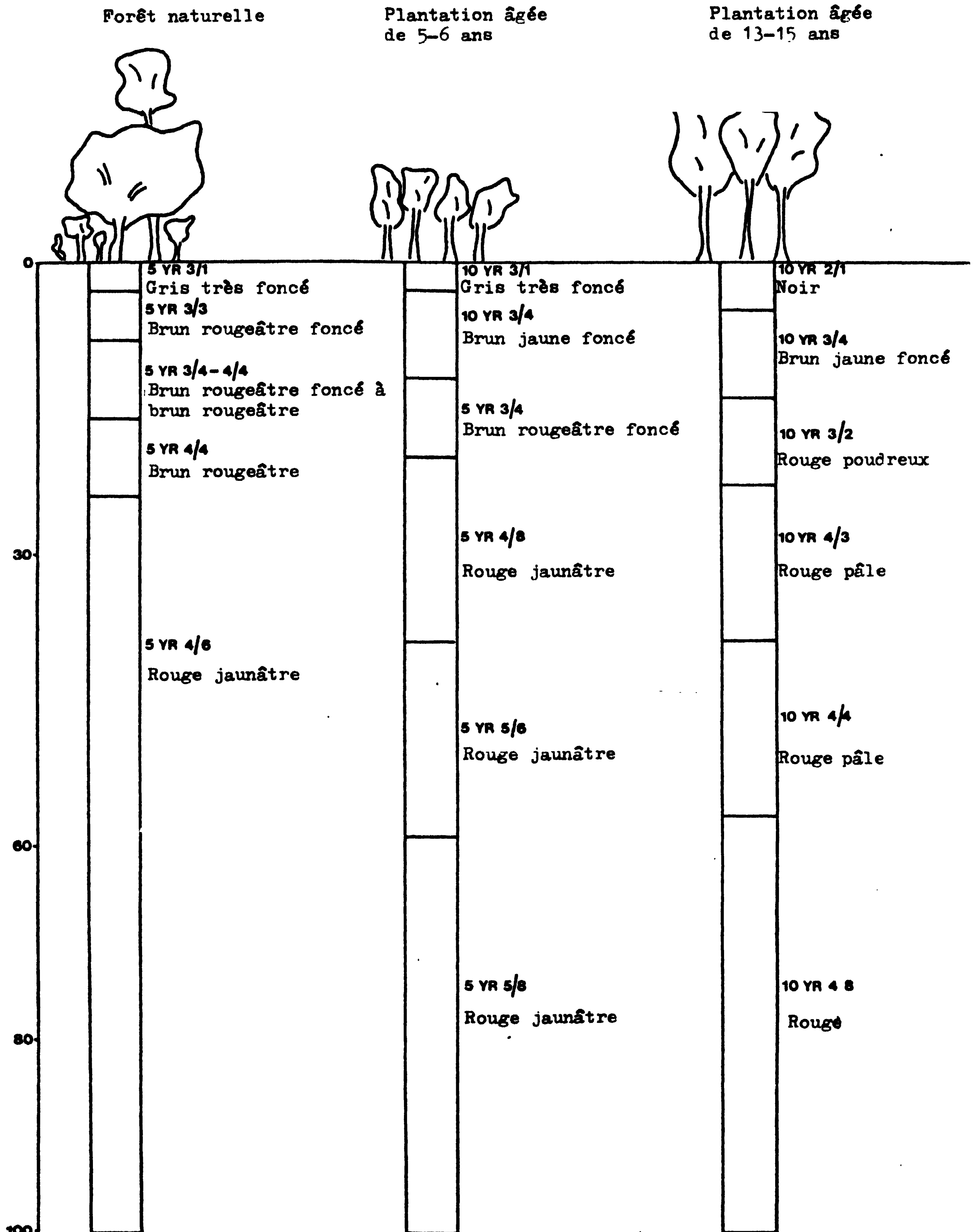


Figure A.1 UBIAJA. PROFILS DES PLANTATIONS DE GMELINA ARBOREA ET DE LA FORET NATURELLE

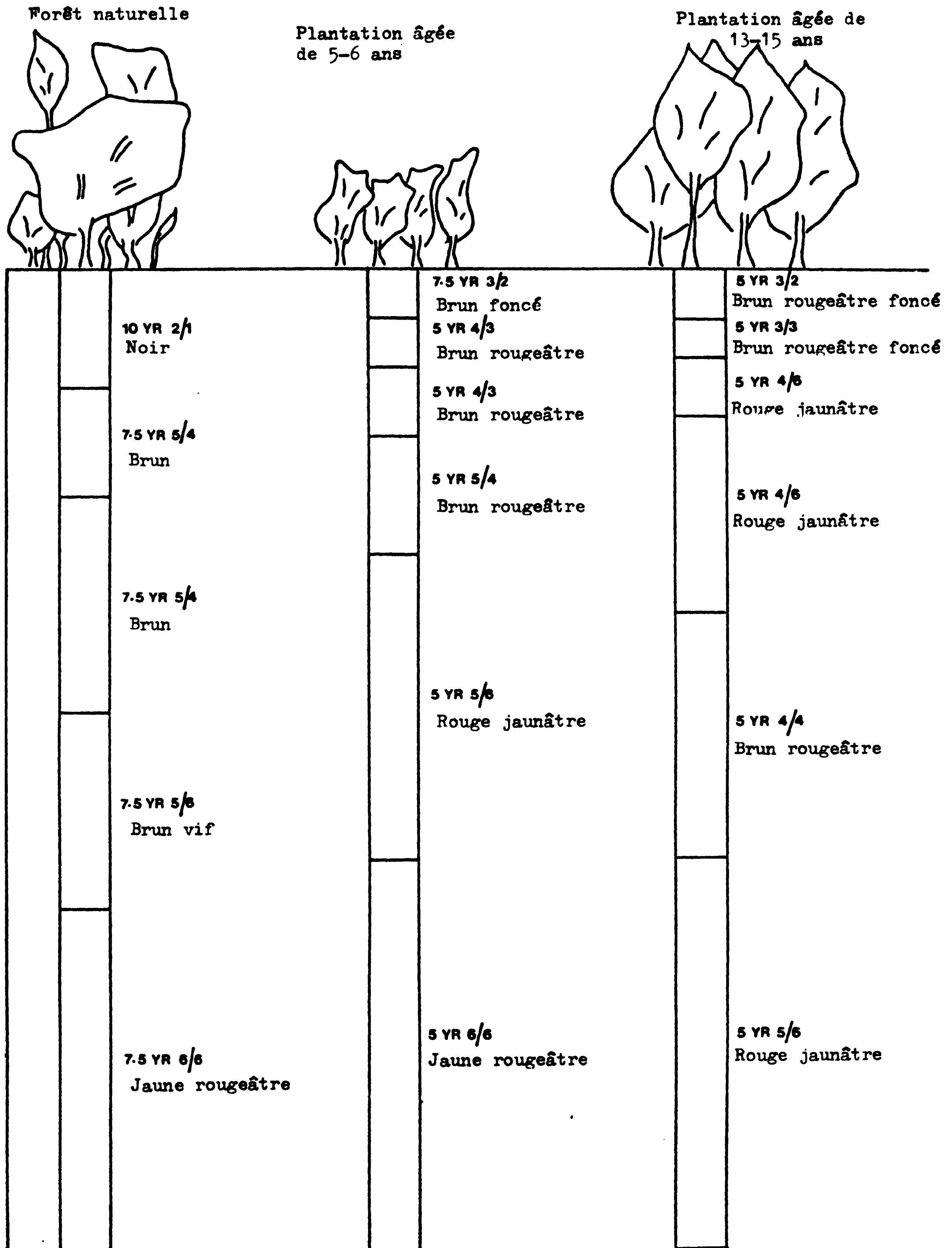


Figure A.2 OMO-AJEBANDELE. PROFILS DES PLANTATIONS DE GMELINA ARBOREA ET DE LA FORET NATURELLE

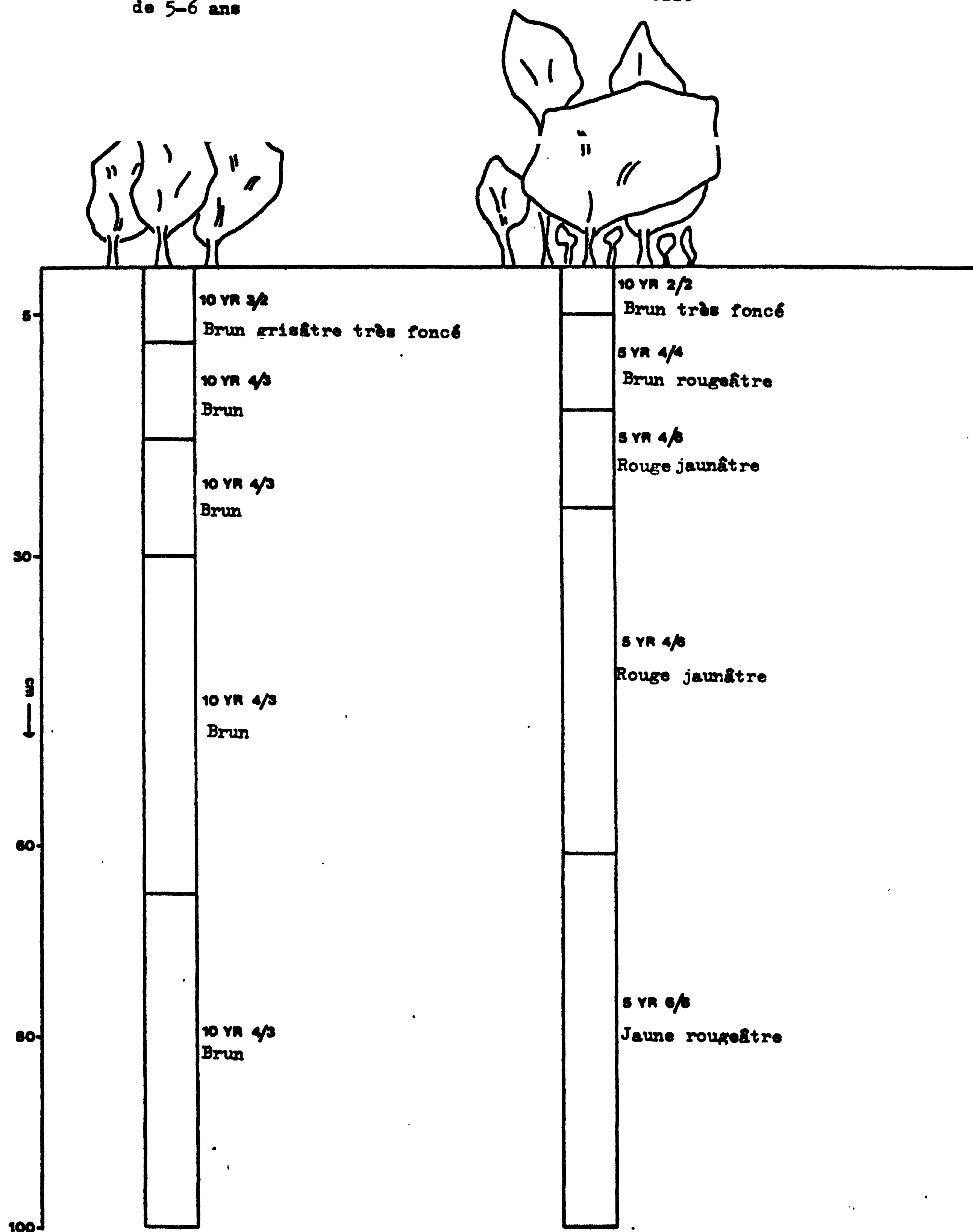


Figure A.3 PACAMARI. PROFILS DES PLANTATIONS DE GMELINA ARBOREA ET DE LA FORET NATURELLE

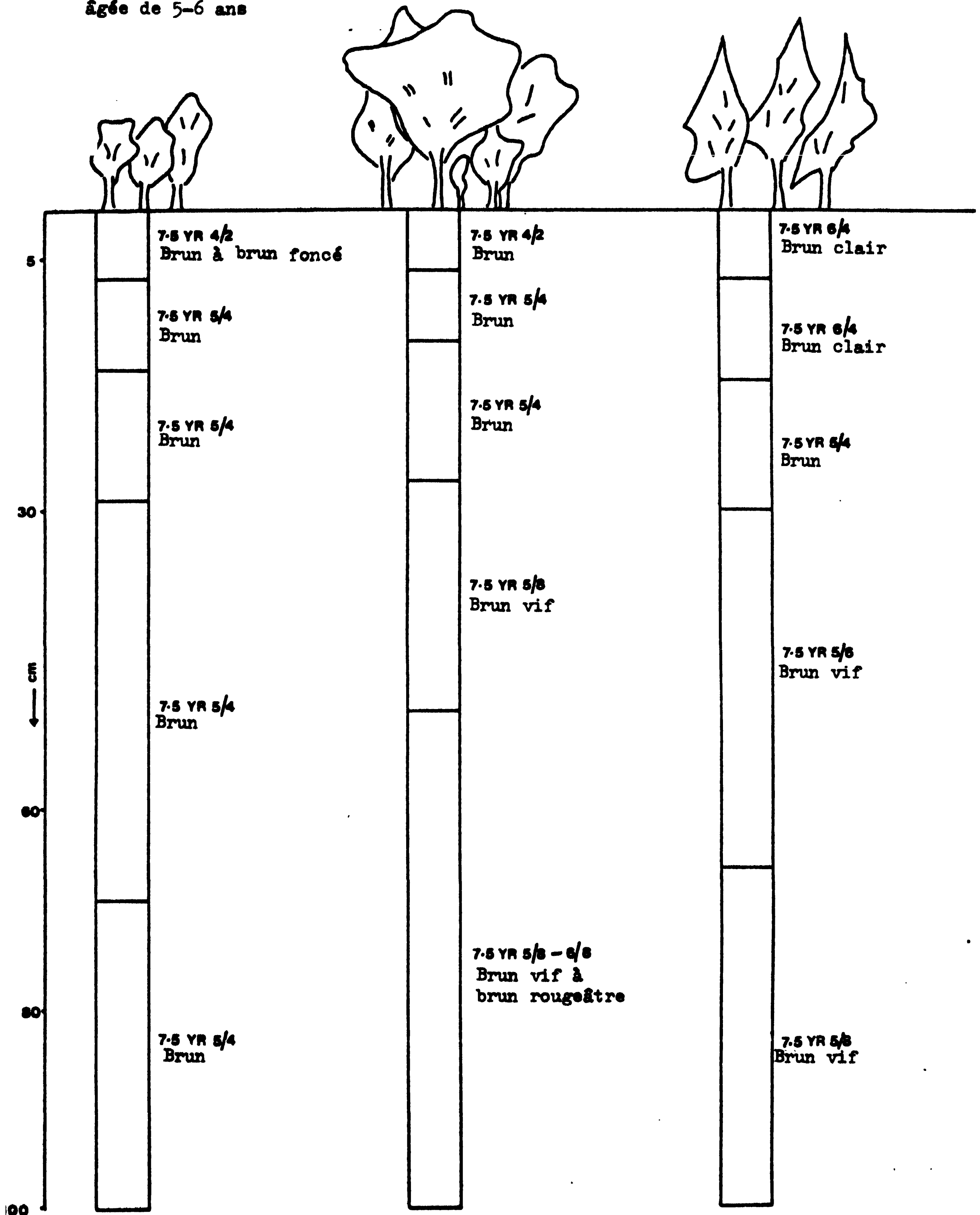


Figure A.4 SAO MIGUEL

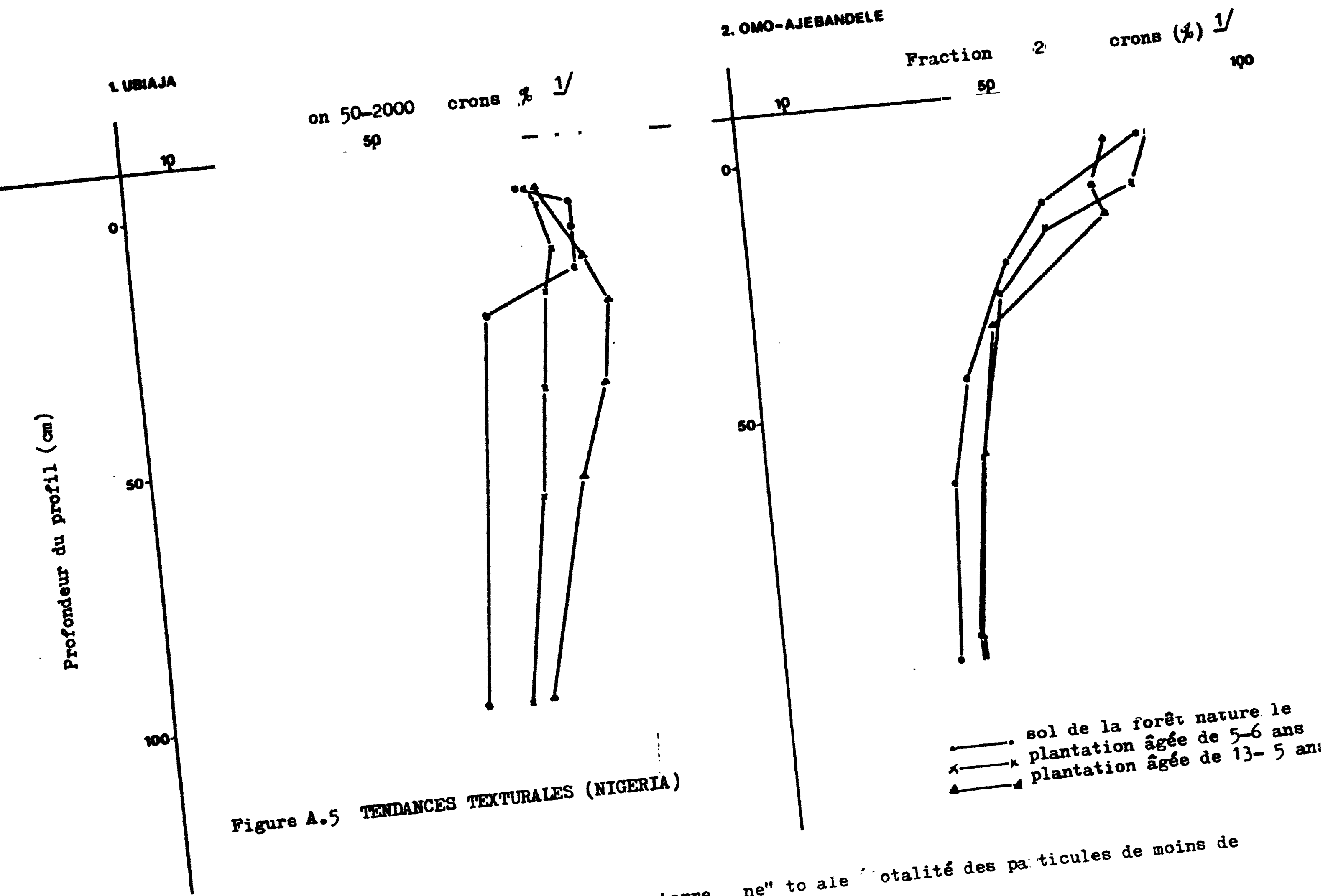


Figure A.5 TENDANCES TEXTURALES (NIGERIA)

1/ A savoir sable en tant que fract on de terre ne" to ale 'otalité des pa ticules de moins de 2 000 microns = 2mm de diamètre)

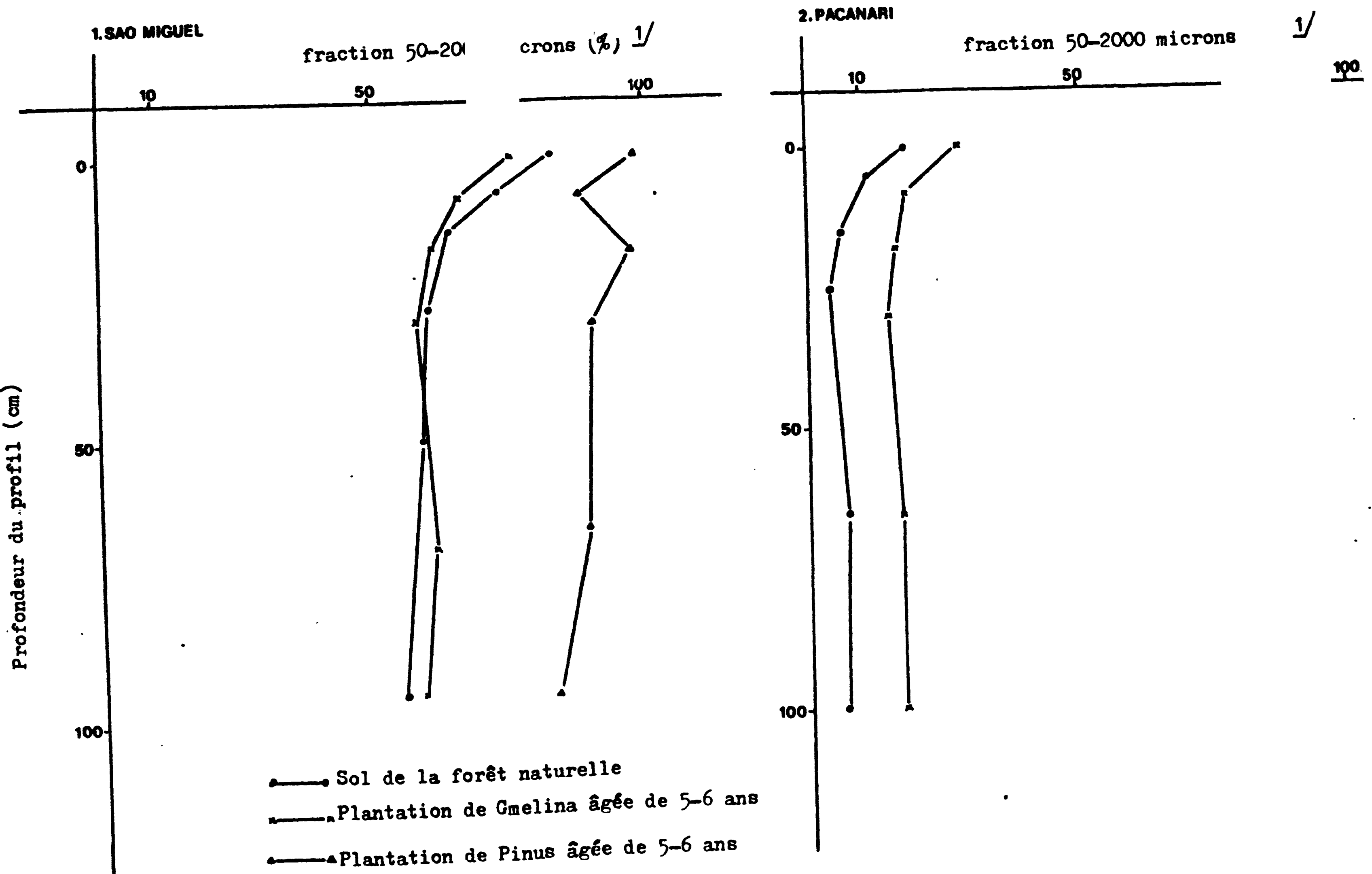


Figure A.6 TENDANCES TEXTURALES (BRESIL : JARI)

1/ A savoir sable en tant que fraction de "terre fine" totale (tota moins de 2 mm de diamètre).

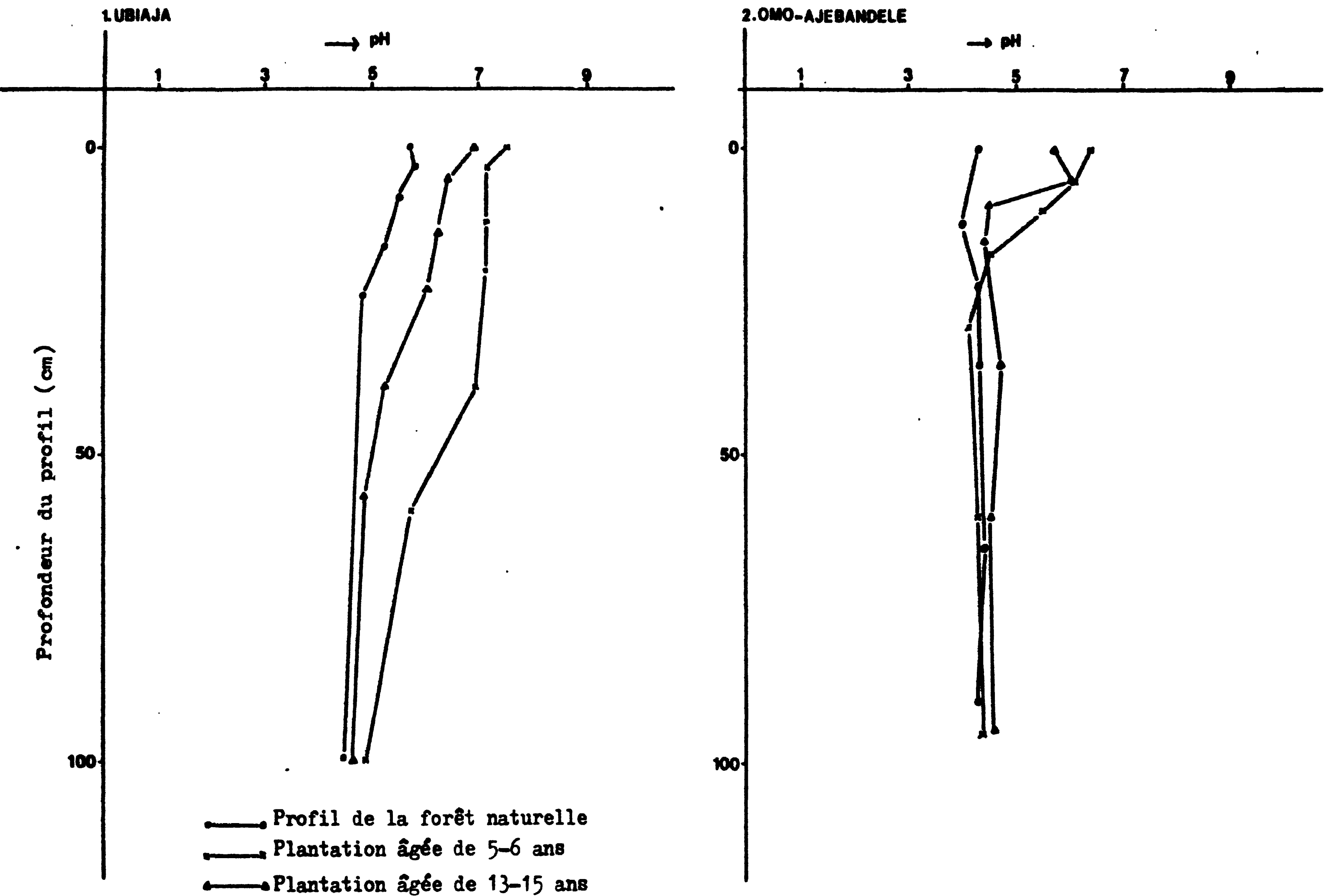


Figure A.7 MODIFICATIONS DU pH SUR L'EPAISSEUR DES PROFILS : NIGERIA

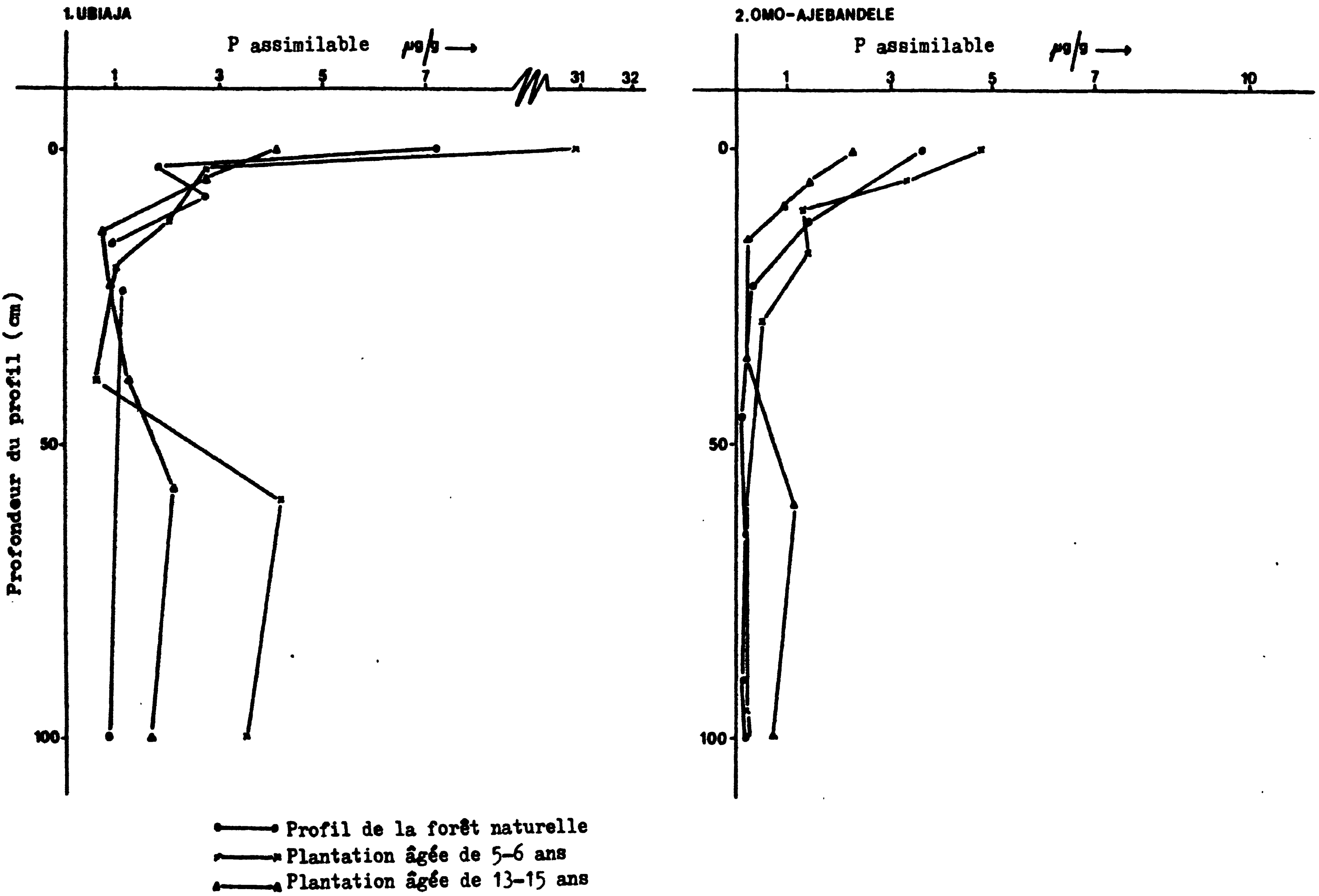


Figure A.8 DISTRIBUTION DU PHOSPHORE ASSIMILABLE SUR L'EPAISSEUR DES PROFILS : NIGERIA

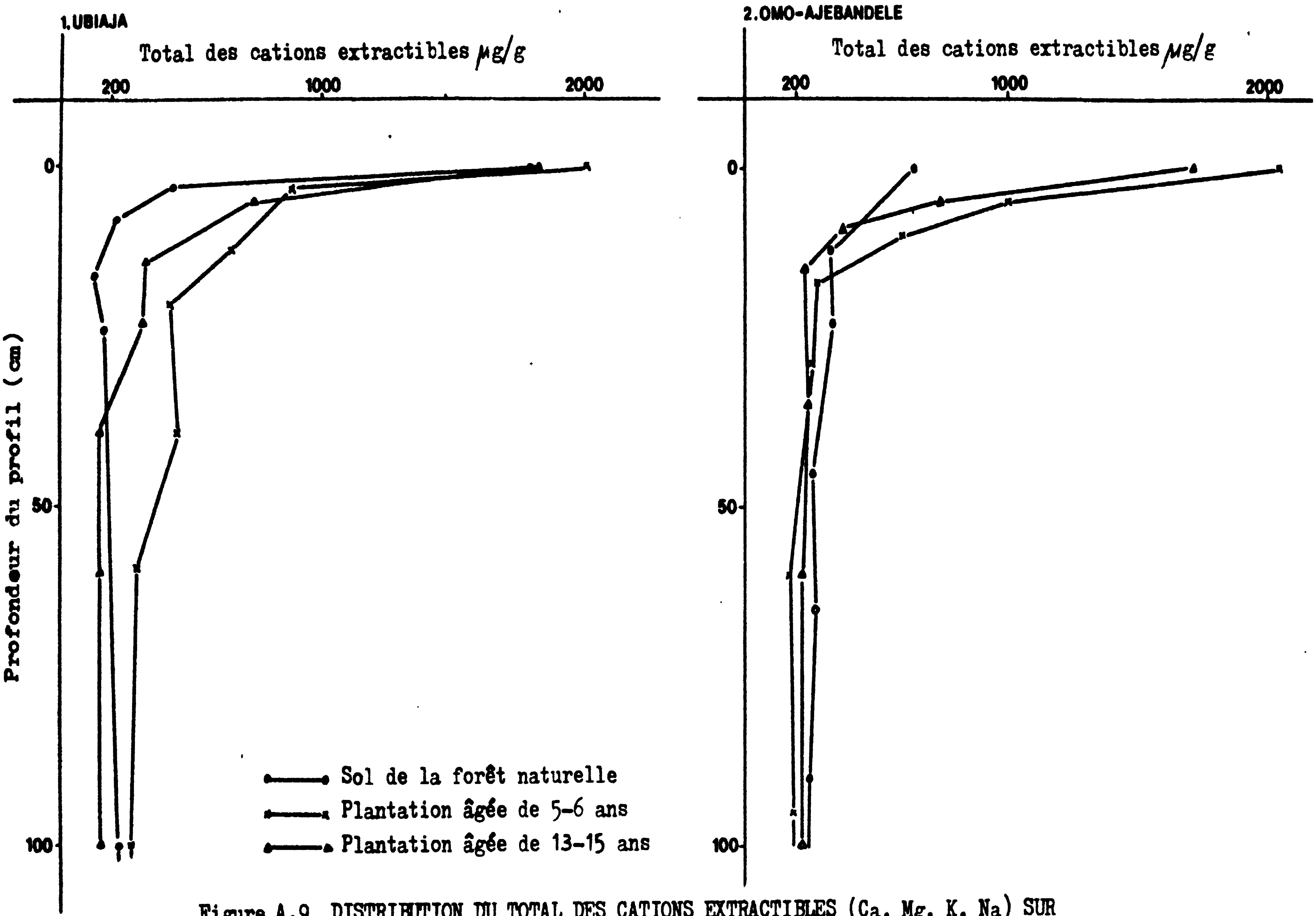


Figure A.9 DISTRIBUTION DU TOTAL DES CATIONS EXTRACTIBLES (Ca, Mg, K, Na) SUR L'EPAISSEUR DES PROFILS : NIGERIA

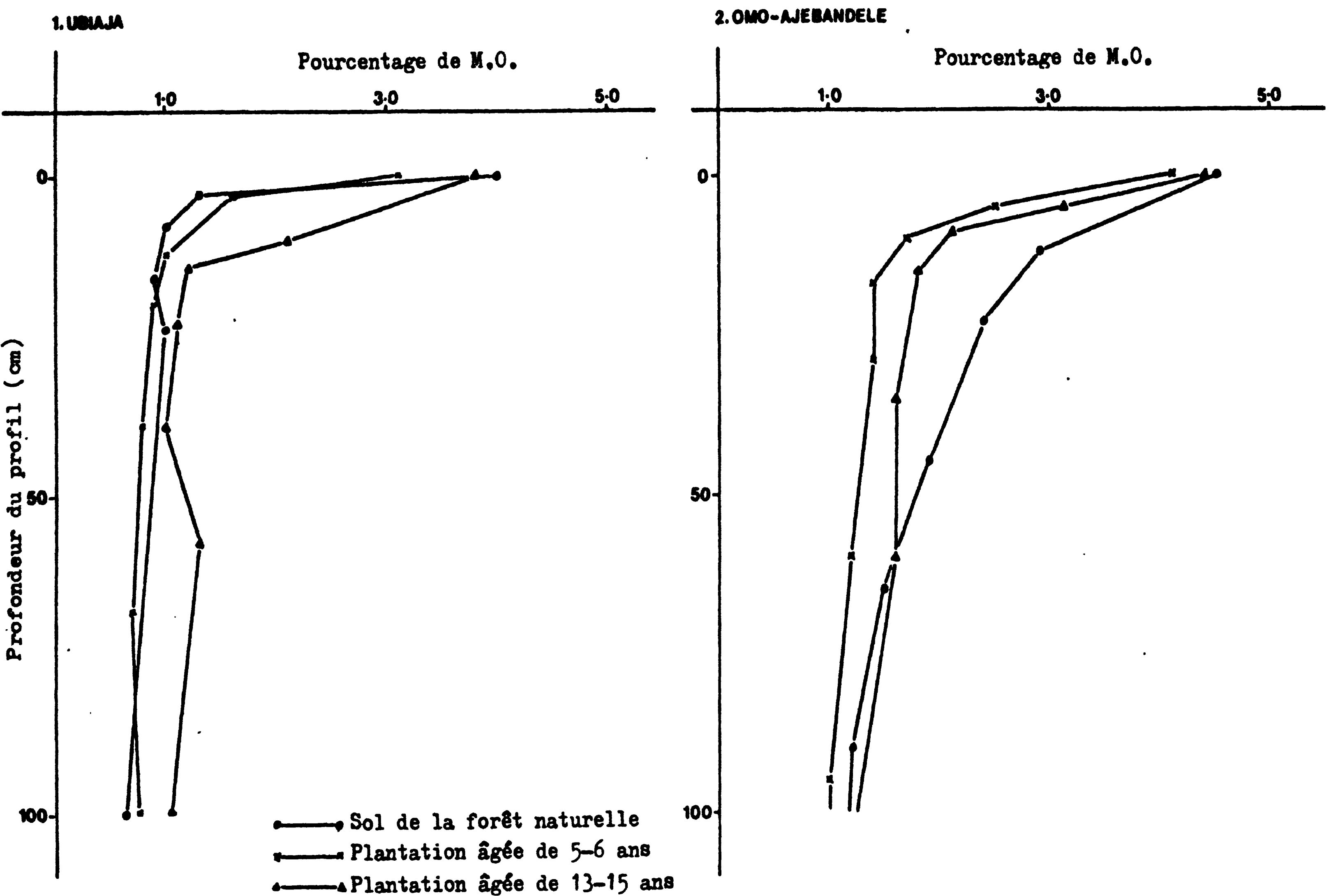


Figure A.10 DISTRIBUTION DE LA MATIERE ORGANIQUE : NIGERIA

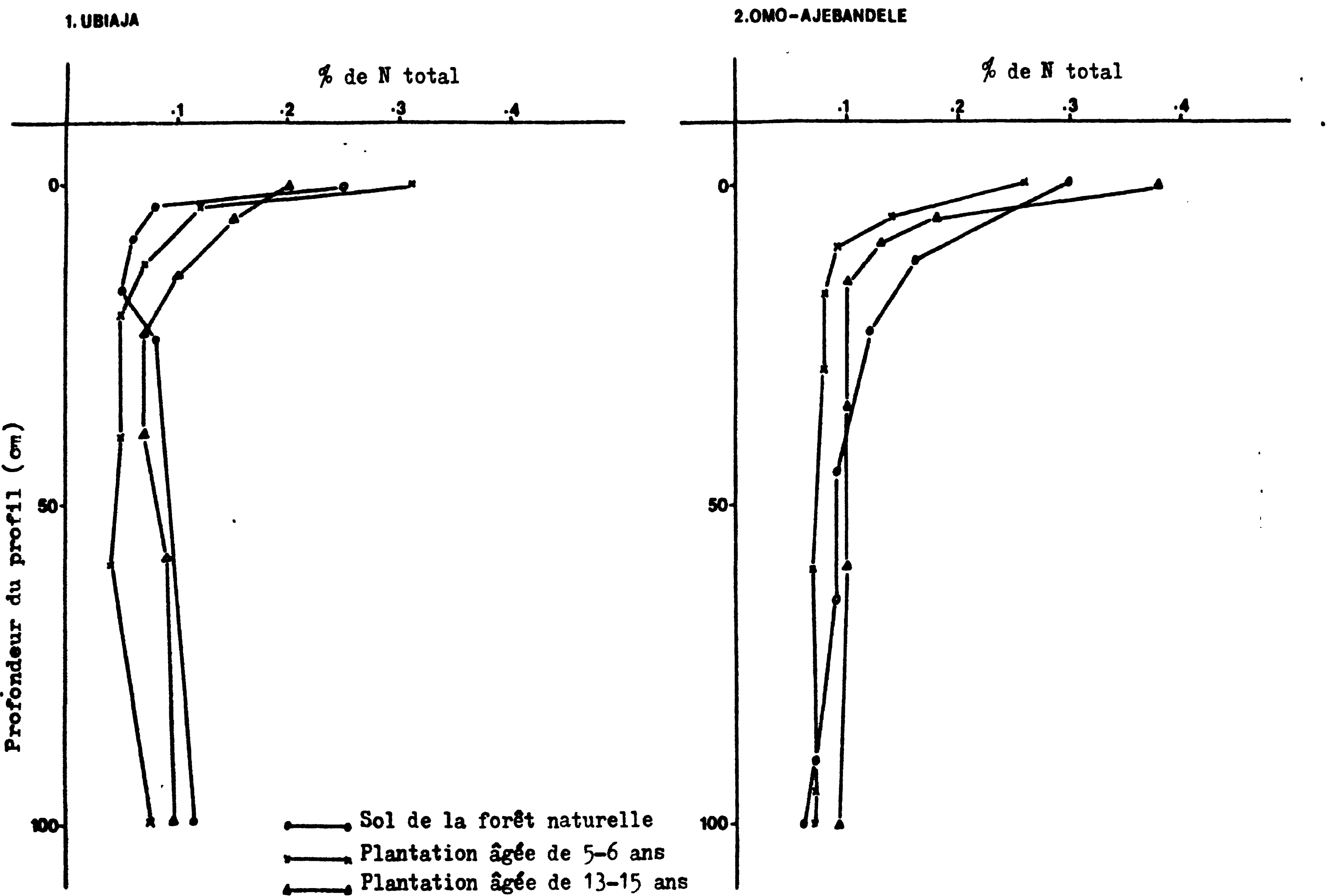
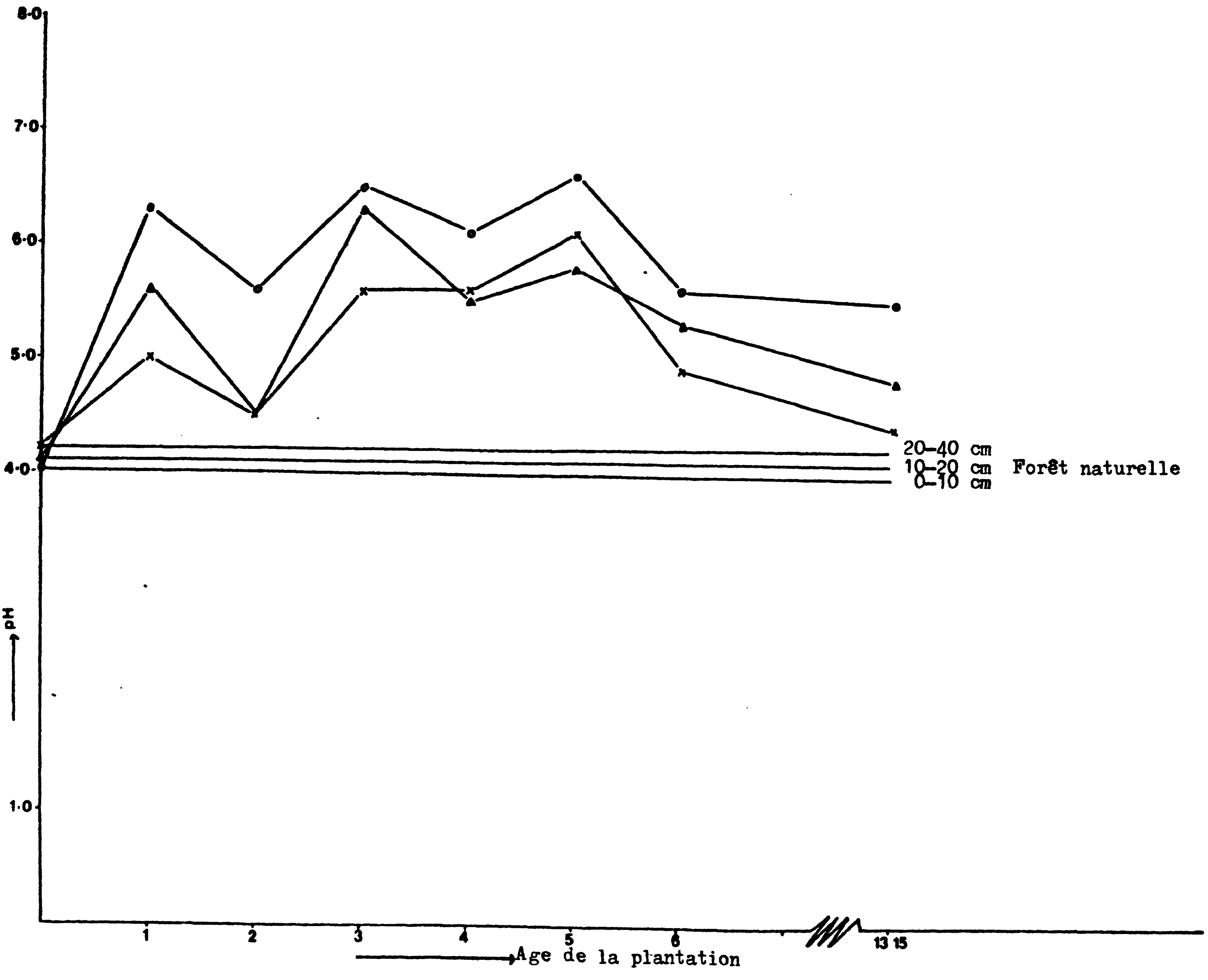


Figure A.11 DISTRIBUTION DE L'AZOTE (% DU TOTAL) : NIGERIA

Figure A.12 EVOLUTION DU pH DU SOL AVEC L'AGE : OMO-AJEBANDELE



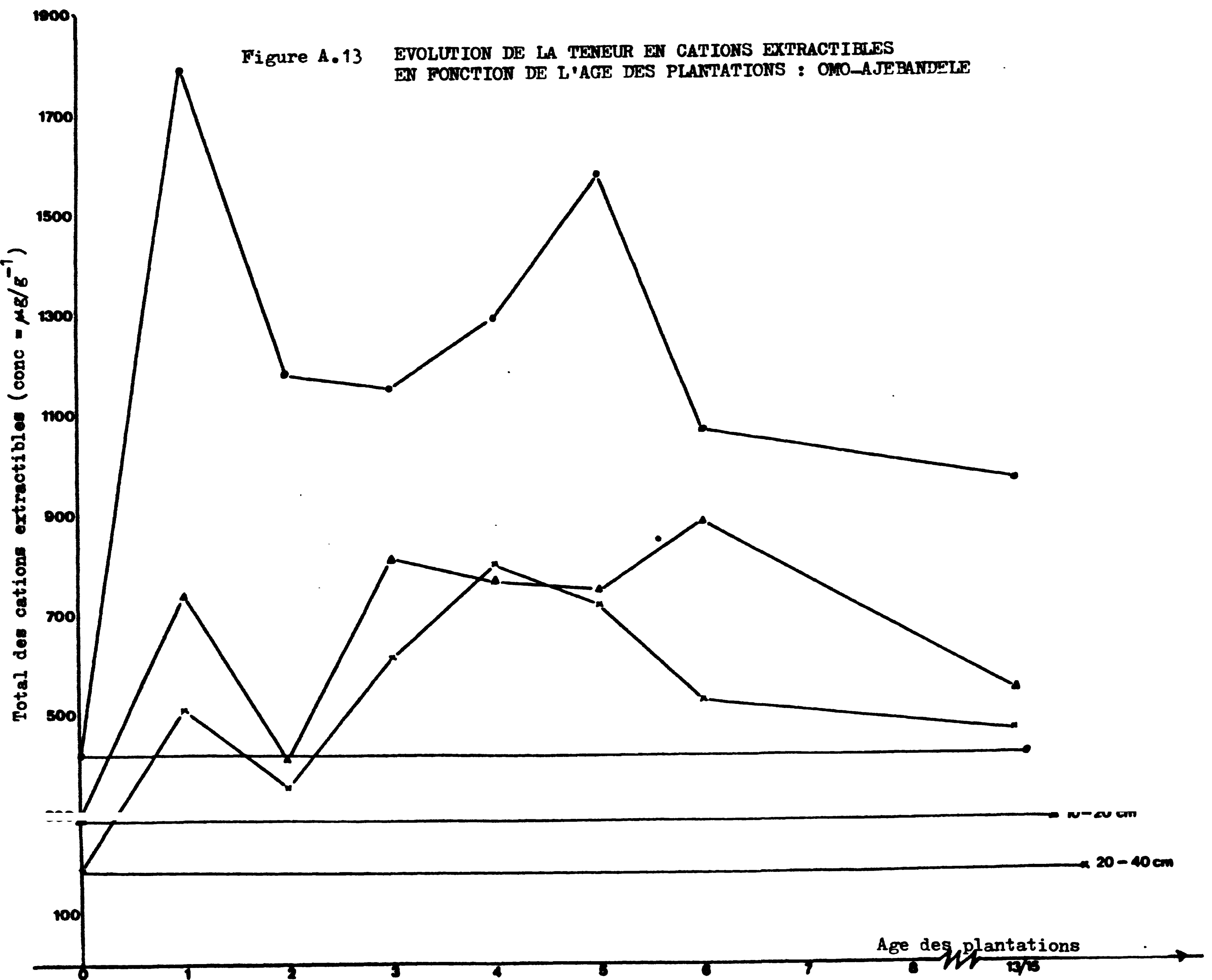
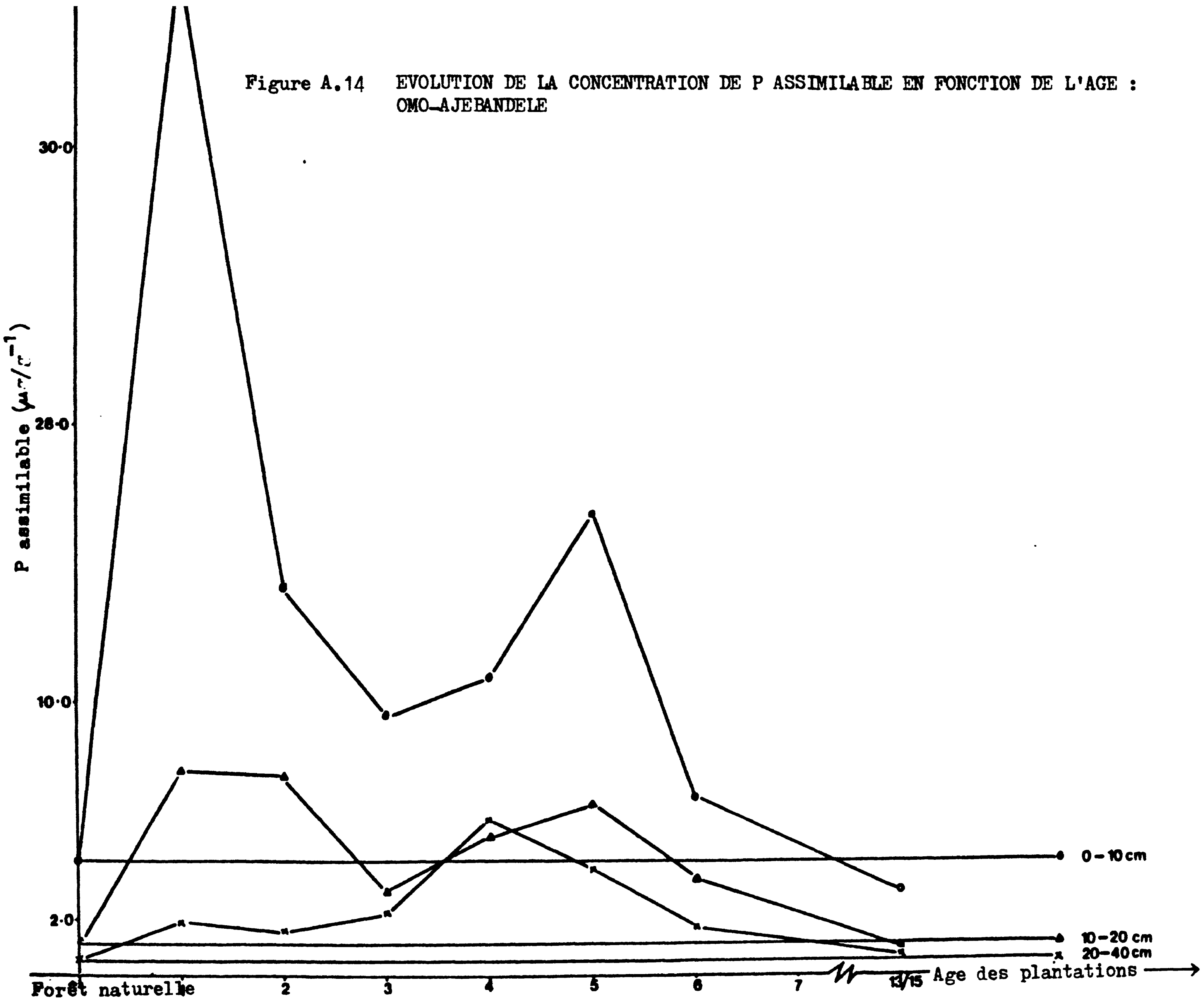


Figure A.13 EVOLUTION DE LA TENEUR EN CATIONS EXTRACTIBLES EN FONCTION DE L'AGE DES PLANTATIONS : OMO-AJEBANDELE

Figure A.14 EVOLUTION DE LA CONCENTRATION DE P ASSIMILABLE EN FONCTION DE L'AGE : OMO-AJEBANDELE



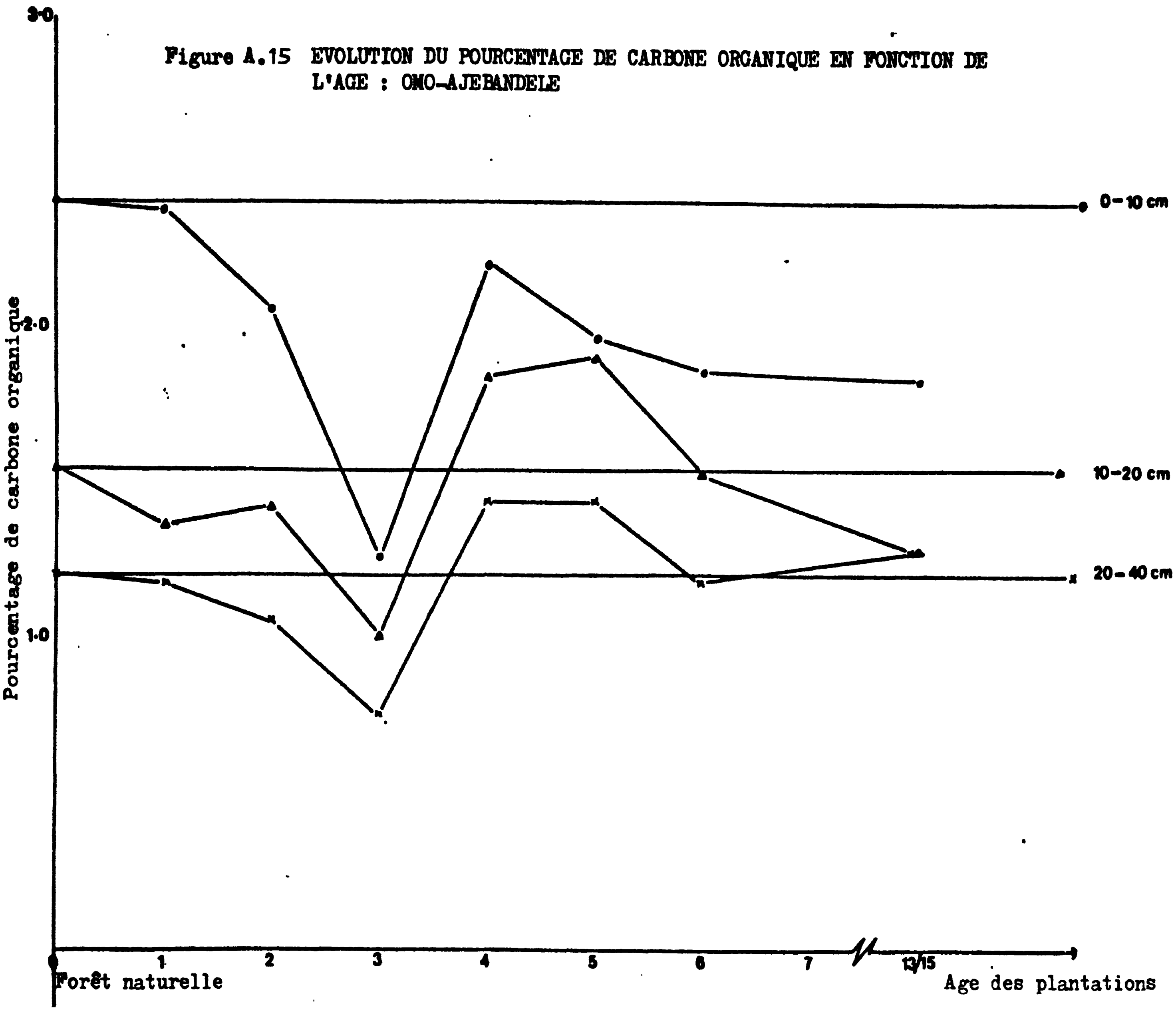


Figure A.15 EVOLUTION DU POURCENTAGE DE CARBONE ORGANIQUE EN FONCTION DE L'AGE : OMO-AJEBANDELE

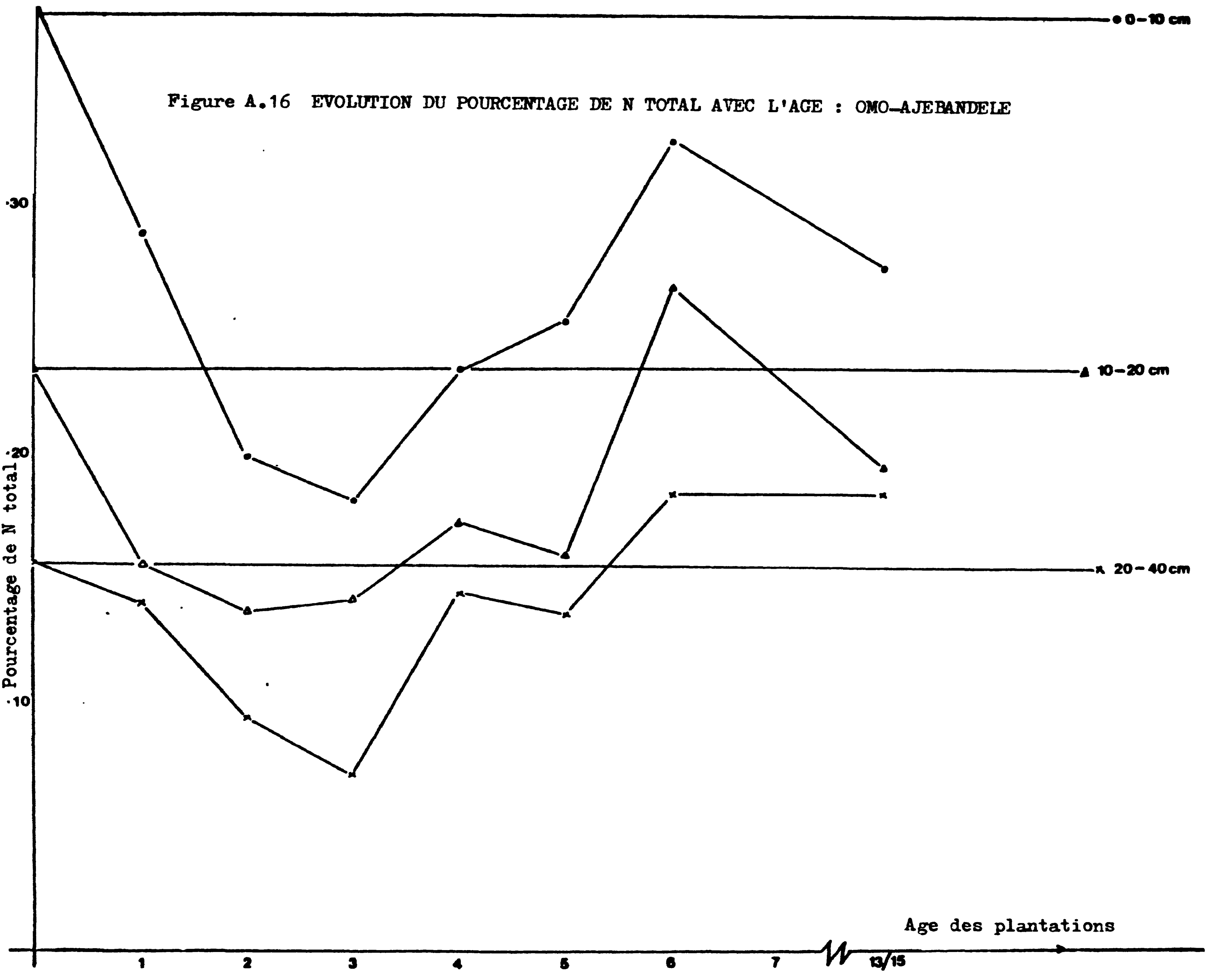
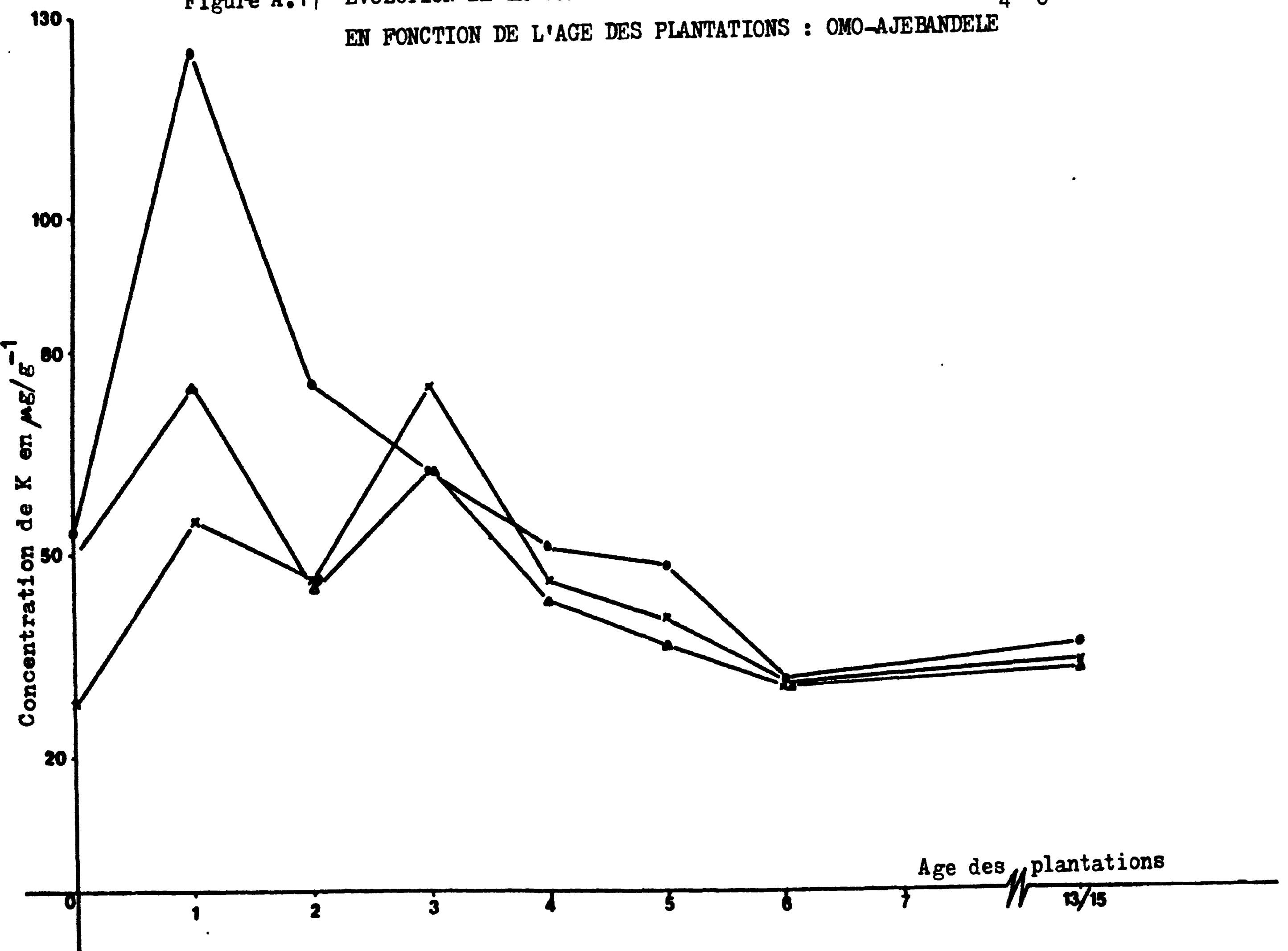


Figure A.16 EVOLUTION DU POURCENTAGE DE N TOTAL AVEC L'AGE : OMO-AJEBANDELE

Figure A.17 EVOLUTION DE LA CONCENTRATION DE K EXTRACTIBLE PAR NH_4OA_c EN FONCTION DE L'AGE DES PLANTATIONS : OMO-AJEBANDELE



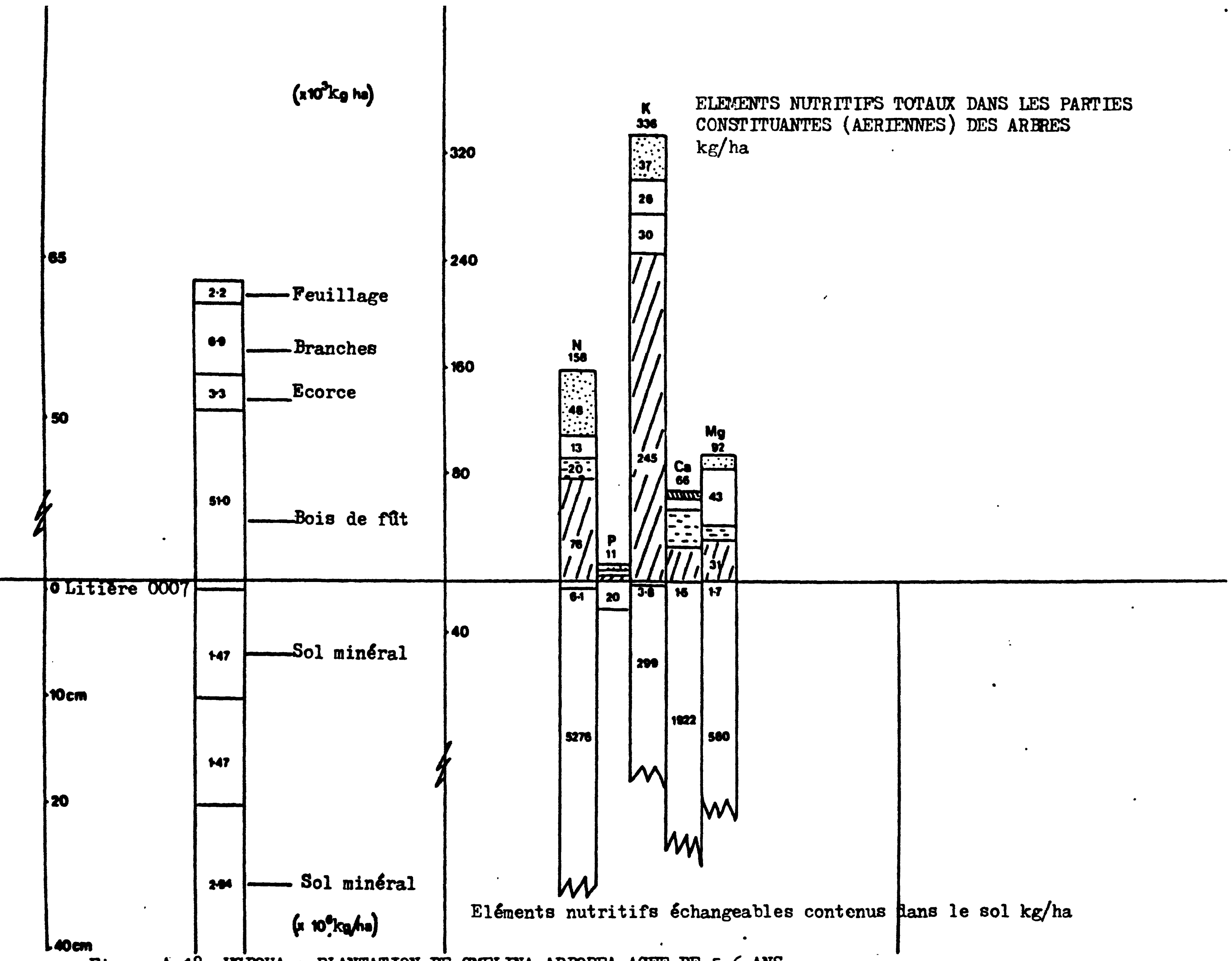


Figure A.18 UGBOHA : PLANTATION DE GMELINA ARBOREA AGEE DE 5–6 ANS

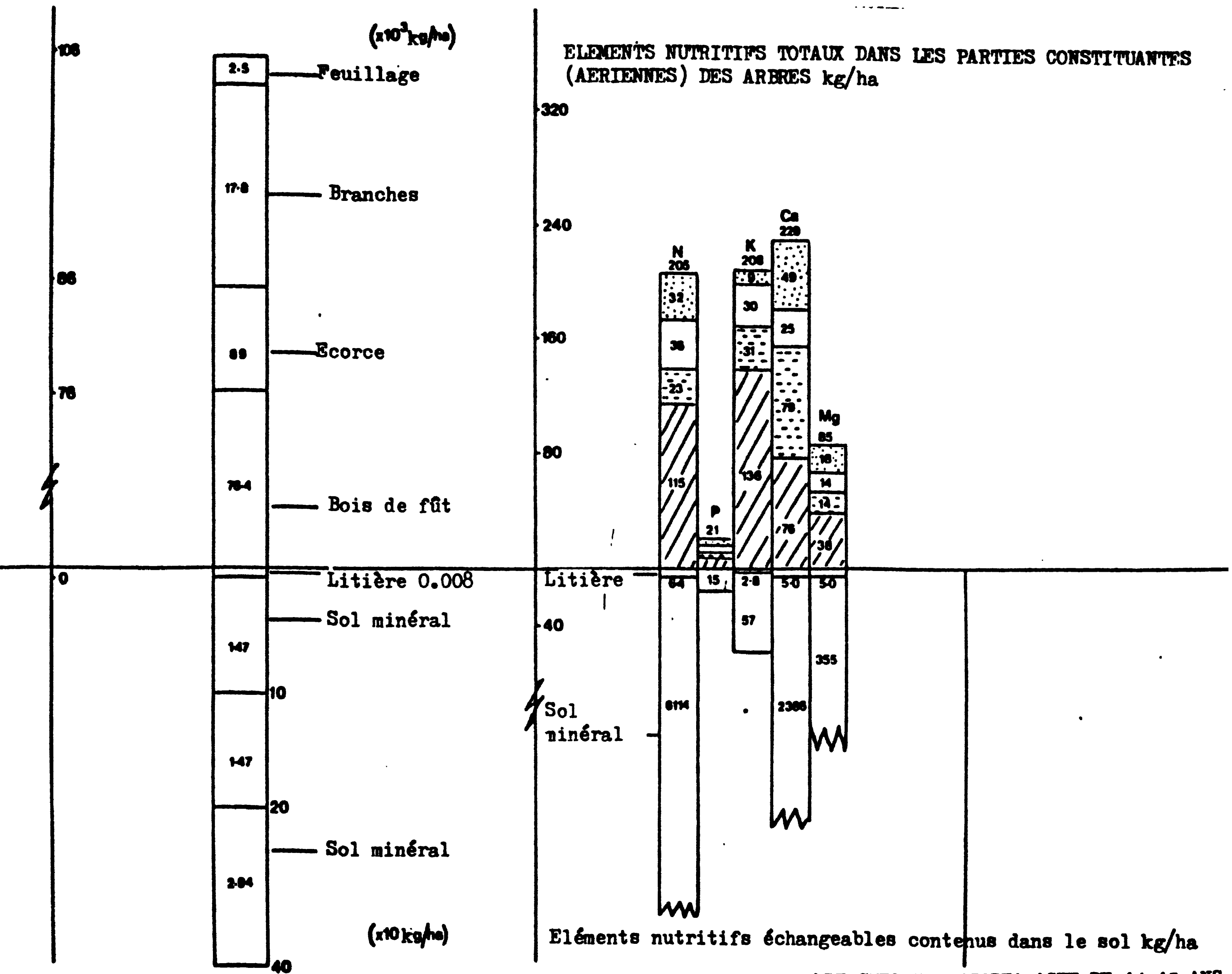


Figure A.19 UDO REST HOUSE : PLANTATION DE GMELINA ARBOREA AGEE DE 14-15 ANS

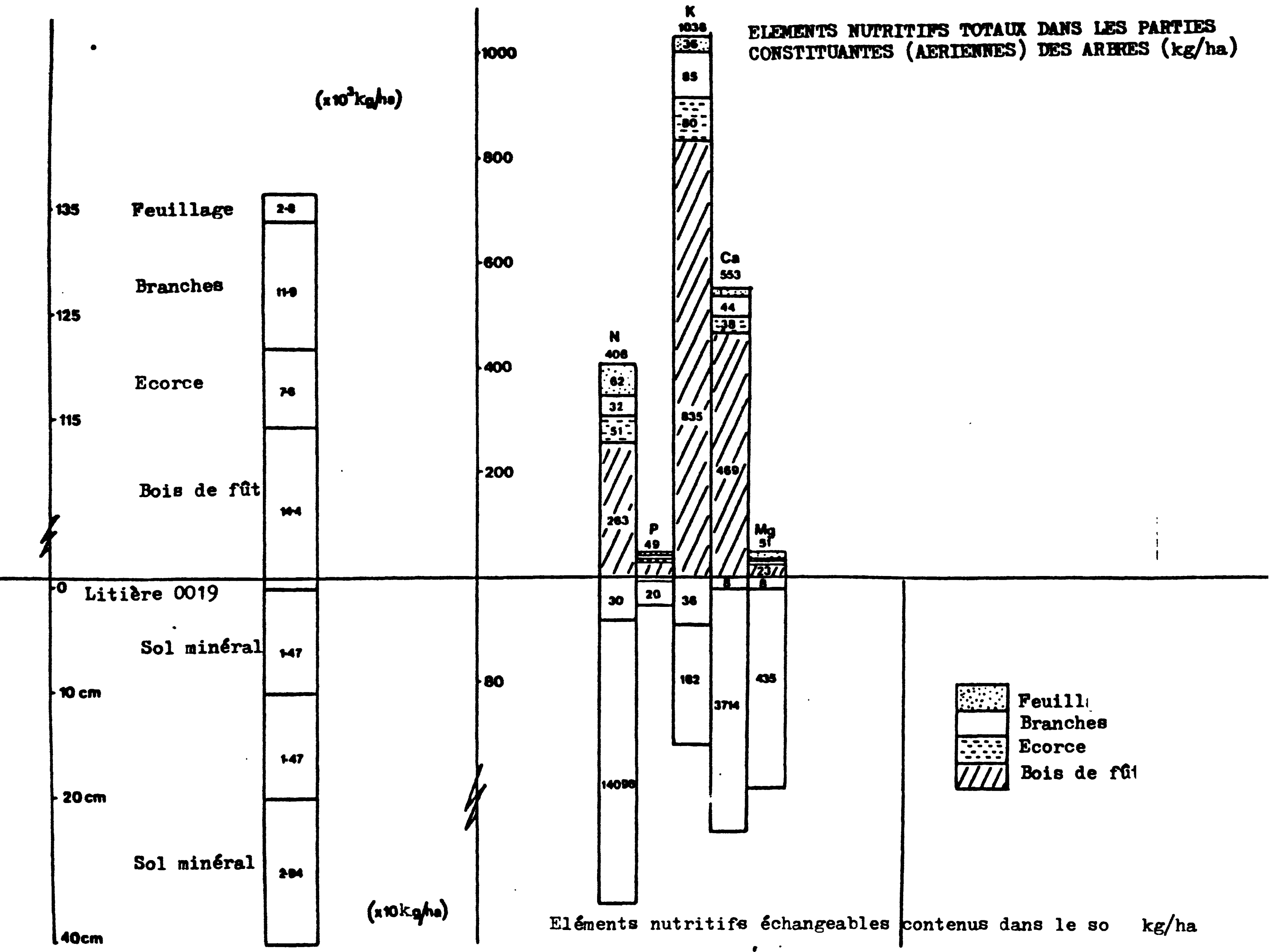


Figure A.20 OMO-AJEBANDELE : PLANTATION DE GMELINA ARBOREA AGEE DE 5-6 ANS

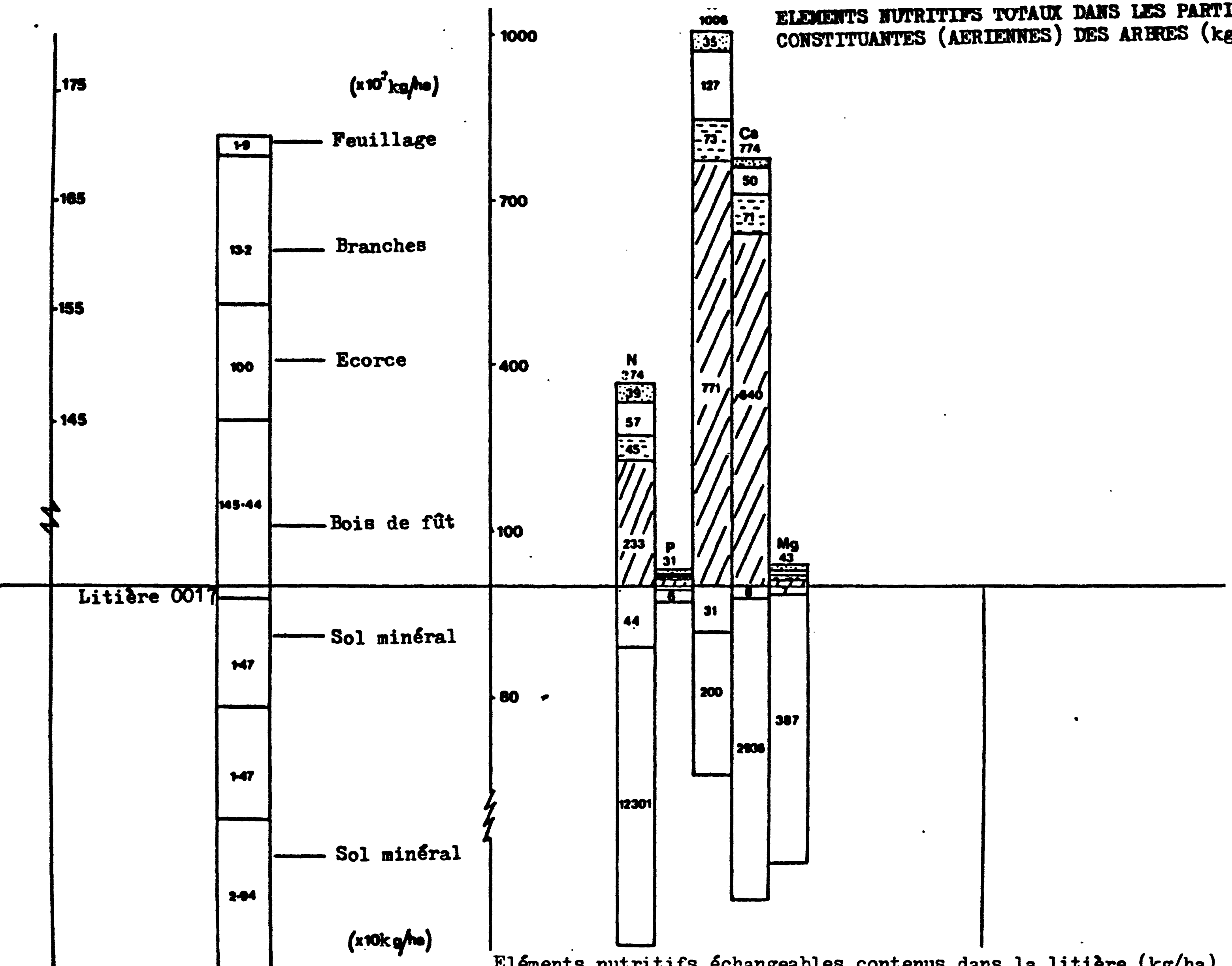


Figure A.21 OMO–AJEBANDELE : PLANTATION DE GMELINA ARBOREA AGEE DE 12–13 ANS

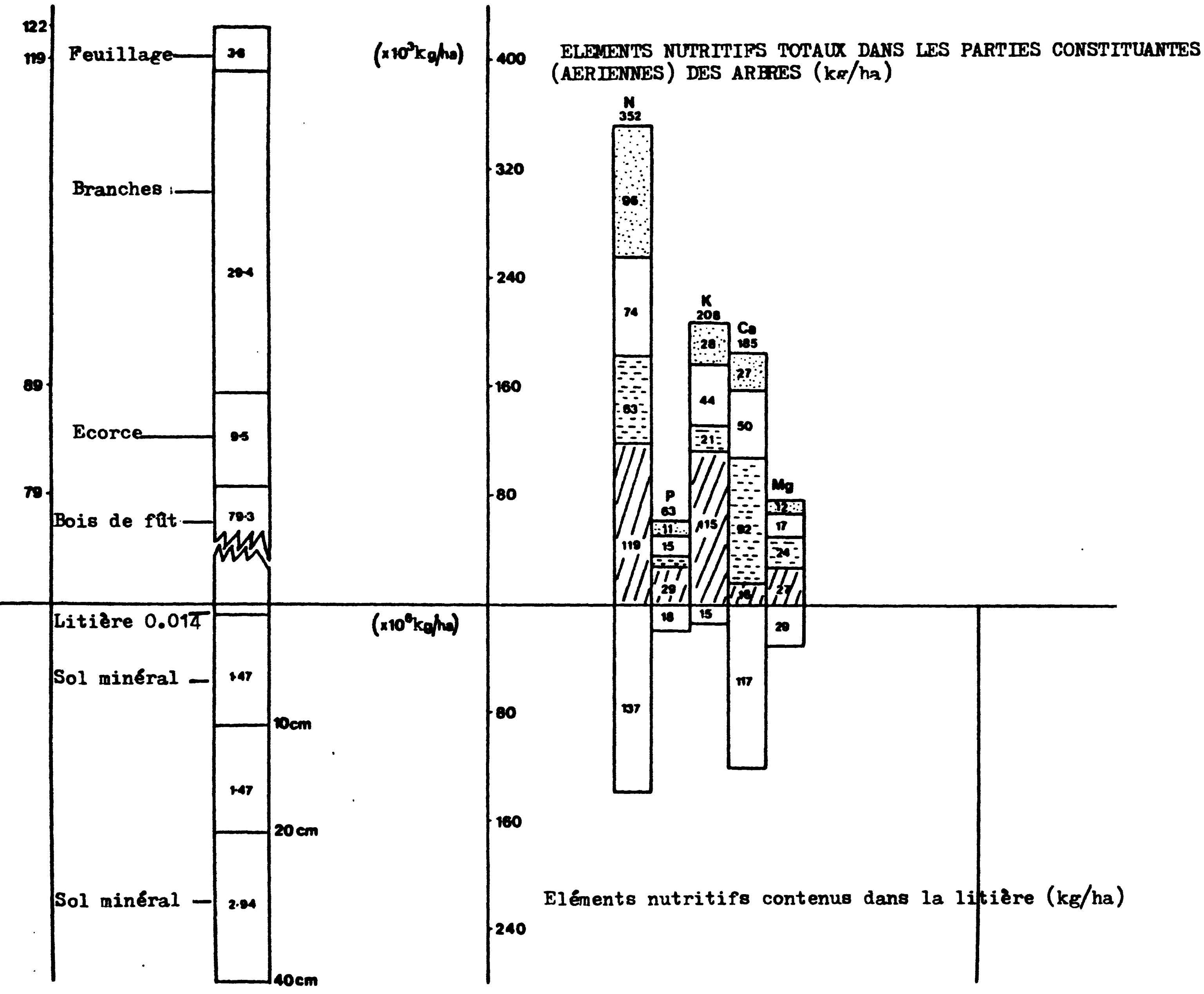
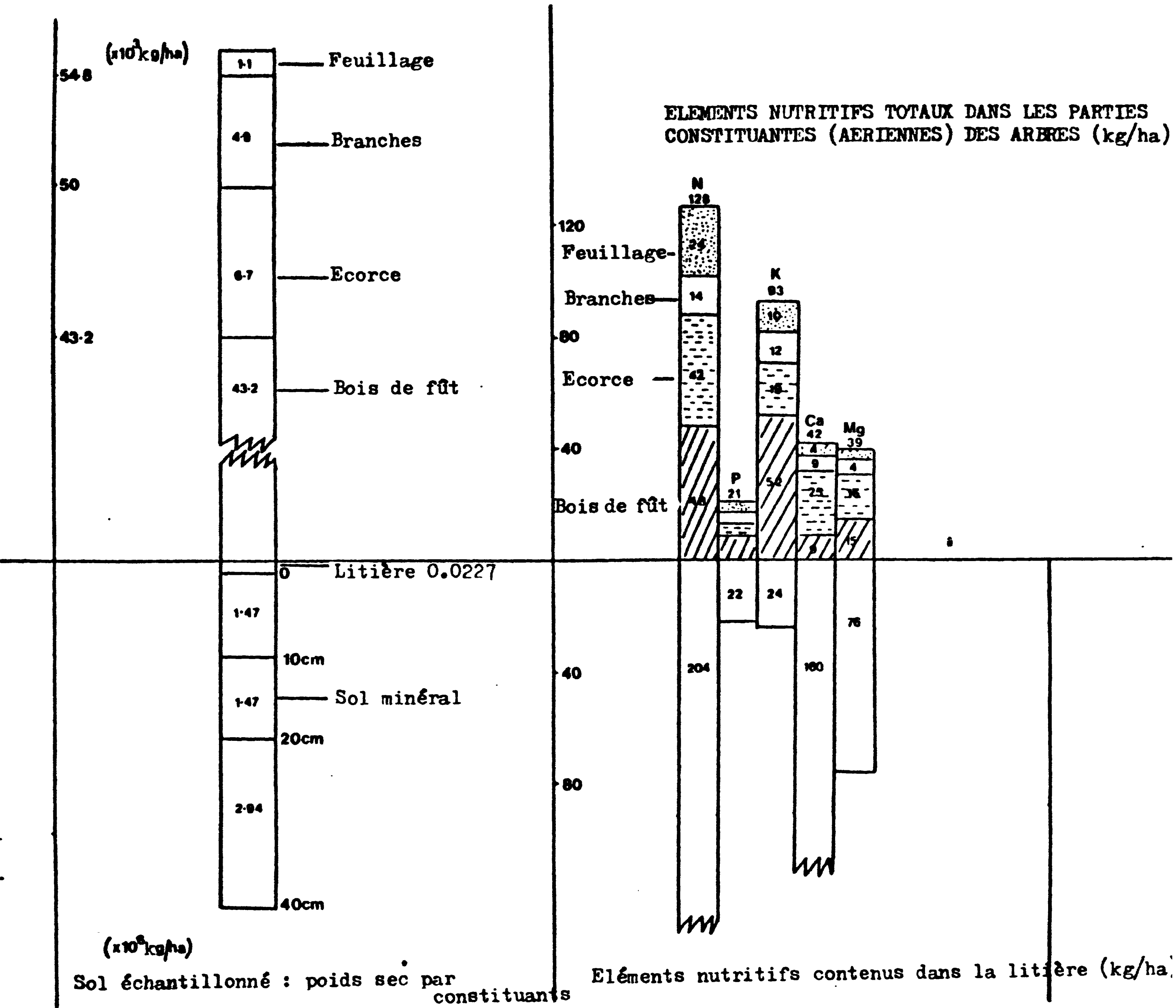


Figure A.22 PACANARI : PLANTATION DE GMELINA ARBOREA AGEE DE 5-6 ANS



gure A.23 SAO MIG 'ATION DE LINA ARBOI 5-6

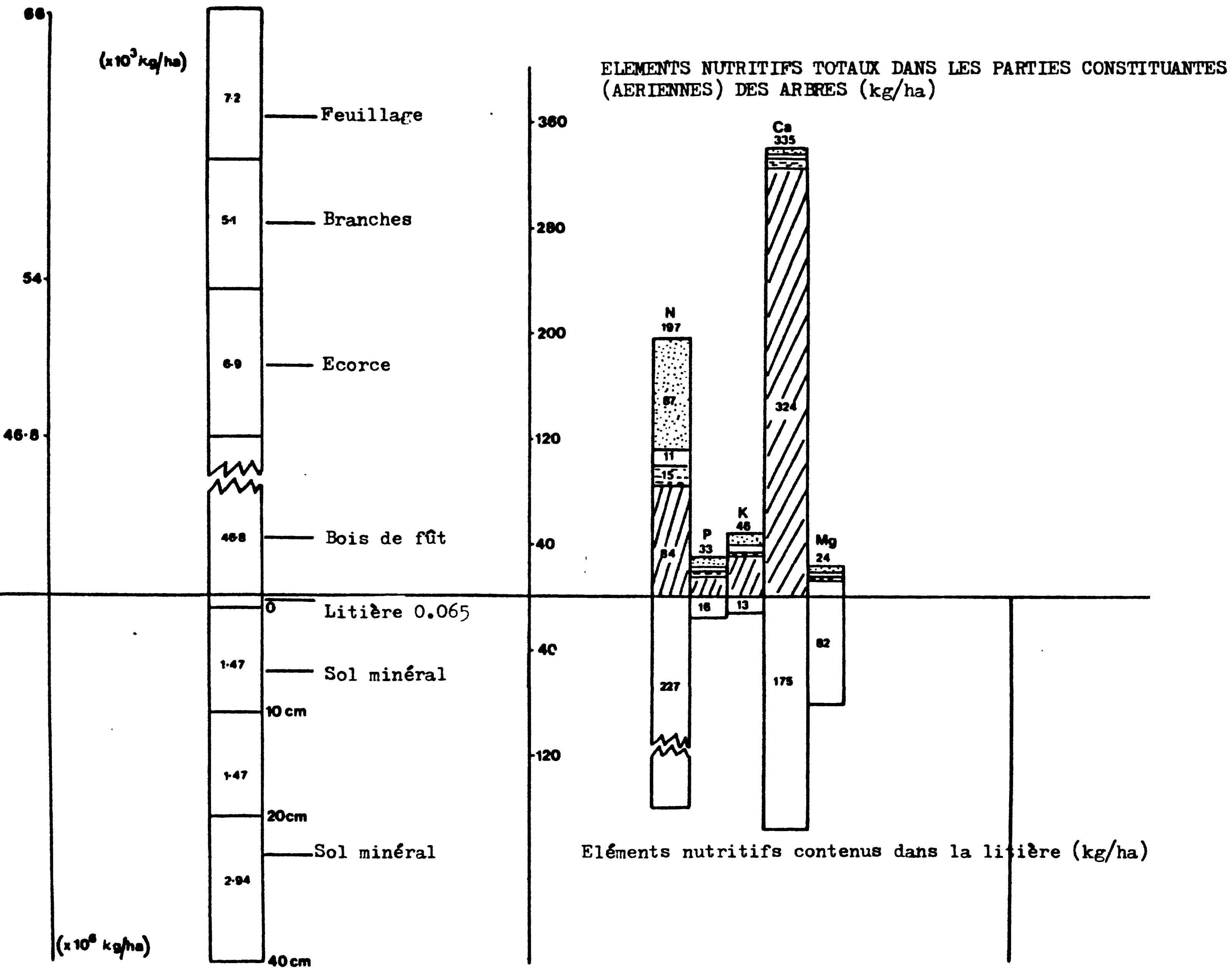


Figure A.24 SAO MIGUEL : PLANTATION DE PINUS CARIBAEA AGEE DE 5–6 ANS

N011044